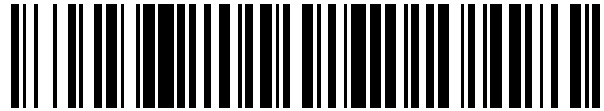


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 554 249**

51 Int. Cl.:

**H02M 1/32** (2007.01)

**H02M 7/5387** (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.06.2011** **E 11736431 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.09.2015** **EP 2591544**

54 Título: **Convertidor estático con estructura redundante**

30 Prioridad:

**07.07.2010 FR 1055523**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**17.12.2015**

73 Titular/es:

**INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE  
TOULOUSE (25.0%)**

**6 allée Emile Monso**

**31029 Toulouse, FR;**

**UNIVERSITE DE TOULOUSE II LE MIRAIL  
(25.0%);**

**UNIVERSITÉ MONTPELLIER 2 SCIENCES ET  
TECHNIQUES (25.0%) y**

**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE (C.N.R.S) (25.0%)**

72 Inventor/es:

**HUSELSTEIN, JEAN-JACQUES;**

**SARRAUTE, EMMANUEL;**

**RICHARDEAU, FRÉDÉRIC y**

**MARTIRE, THIERRY**

74 Agente/Representante:

**PONTI SALES, Adelaida**

**ES 2 554 249 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

Convertidor estático con estructura redundante

- 5 **[0001]** La presente invención se refiere a convertidores estáticos de tensión (c.c./c.a., c.c./c.c. y c.a./c.a.), destinados a la conversión de energía eléctrica desde una fuente de tensión continua (c.c.), respectivamente de tensión alterna (c.a.) hacia una carga alimentada con corriente continua (c.c.) o con corriente alterna (c.a.), respectivamente con corriente alterna (c.a.), y en los que una estructura de redundancia asegura el mantenimiento operativo o la continuidad de servicio del convertidor en caso de una avería en uno de sus componentes de potencia. La invención se refiere igualmente a los procedimientos correspondientes de mantenimiento del funcionamiento de convertidores estáticos provistos de dichas estructuras de redundancia. El concepto de redundancia para células de conmutación subyacente a la invención puede extenderse igualmente a las estructuras de los rectificadores de tensión que convierten energía eléctrica de corriente alterna en energía eléctrica de corriente continua (c.a./c.c.).
- 10
- 15 **[0002]** En el campo de la seguridad de los convertidores estáticos, existe una seguridad en términos de funcionamiento del convertidor, es decir, de respeto de la integridad física del convertidor en sentido tecnológico y una seguridad en términos de disponibilidad de aplicación, es decir, de continuidad de servicio. El documento US-2004/125.523-A1 describe un convertidor estático en el que se implementa una solución dirigida a asegurar la continuidad de servicio. Entre las soluciones dirigidas a asegurar la continuidad de servicio, existen soluciones que usan la redundancia del sistema, soluciones que usan la redundancia activa integrada y soluciones que usan la redundancia activa no integrada y finalmente la redundancia pasiva. La redundancia de sistema consiste en segmentar el flujo de potencia por medio de una división de la corriente (a través de un número  $N_p$  de convertidores o células en paralelo) y/o de una división en tensión (a través de un número  $N_p$  de convertidores o células montados en serie o en cascada) y en aislar un elemento cuando se convierte en defectuoso: en circuito abierto para la configuración en paralelo y en circuito cerrado para la configuración en serie. Este enfoque se usa sobre todo para las aplicaciones de alta potencia cuando la carga está dividida o repartida de forma natural y cuando los convertidores están hechos en forma de un número elevado de módulos independientes. No obstante presenta el inconveniente de aumentar la complejidad y el coste del convertidor en términos de número de elementos semiconductores de potencia requeridos y de circuitos auxiliares.
- 20
- 25 **[0003]** La redundancia activa integrada consiste en usar un montaje en serie de un número  $N$  relativamente elevado de elementos semiconductores de potencia, en usar la propiedad de paso espontáneo a un estado baja impedancia estable de un elemento semiconductor cuando se vuelve defectuoso y en aprovechar la baja relación de tensión en los otros  $N-1$  semiconductores para asegurar el mantenimiento de la función al coste de una disminución de la corriente y del flujo de potencia. Existe así en este caso una degradación de las condiciones de uso del convertidor estático y si bien la continuidad de servicio está asegurada el servicio no está menos degradado.
- 30
- [0004]** La redundancia activa no integrada requiere el uso de medios auxiliares activos de control que permiten la conexión de los semiconductores de potencia en las líneas atravesadas por la potencia. Son por ejemplo relés, tiristores o transistores que soportan corrientes eléctricas elevadas. El inconveniente de esta redundancia es la degradación de la fiabilidad de la aplicación de la redundancia en caso de emergencia debido principalmente al uso de circuitos de control.
- 40
- 45 **[0005]** La redundancia pasiva consiste en duplicar una célula o un convertidor, generalmente en paralelo, colocarla o colocarlo en un estado inactivo desde el punto de vista de su control (lo que no significa que la redundancia esté situada fuera de tensión). Por simple que resulte, esta forma de redundancia plantea el problema de la desconexión de la carga de la célula en fallo y después su conexión a la célula de emergencia, sobre todo sin una configuración multifásica en la que el sobre coste y la complejidad ligados a los elementos auxiliares se convierten en prohibitivos.
- 50
- [0006]** El documento titulado «Fault-tolerant Multilevel Converter Topology» de S. Ceballos y cols., publicado en IEEE ISIE 2006, July 9-12, Québec, Canadá, aporta una mejora a la fiabilidad de un inversor multiniveles de redundancia activa no integrada en el que usan, en lugar de medios de conexión activos controlados, diodos como medios de conexión pasivos no controlados. El documento describe una arquitectura con variantes de un inversor multiniveles resistente a las averías.
- 55
- [0007]** El documento describe en particular un inversor de salidas trifásicas multiniveles que comprende para cada una de las fases un brazo de conmutación principal. Cada brazo de conmutación principal comprende cuatro transistores en serie en la misma dirección. El punto central de esta asociación forma una salida de suministro de la corriente a una fase de la carga eléctrica y cada interruptor electrónico comprende la asociación de un transistor de potencia y de un diodo montado en antiparalelo. Los interruptores de las células de conmutación de los brazos de conmutación principales están provistos de medios de control configurados para que el inversor suministre en funcionamiento normal en cada fase una corriente alterna con la misma frecuencia y en tres niveles de tensión. Cada brazo de conmutación principal está conectado a un mismo primer terminal de polaridad positiva y a un segundo terminal de polaridad negativa de la fuente de tensión de corriente continua a través de un primer fusible y
- 60
- 65

de un segundo fusible asociados. El inversor comprende igualmente un brazo auxiliar de conmutación con una estructura diferente de capacidad flotante destinada a proporcionar de forma original un punto neutro de tensión estable correspondiente a la mitad de la tensión total para los tres brazos de conmutación principales. El brazo auxiliar de conmutación comprende una estructura de interruptores formados por transistores muy diferentes, en forma de dos células imbricadas, una externa y la otra interna al brazo. El punto central de la célula de conmutación interna imbricada del brazo auxiliar está conectado a los terminales internos y simétricos asociados a un brazo de conmutación principal diferente a través de un circuito de conmutación de corriente de conmutación diferente asociado. Cada circuito de conmutación comprende un primer diodo conectado en modo directo desde la salida del punto central de la célula de conmutación interna del brazo auxiliar hasta un primer terminal punto común de los dos primeros transistores del brazo principal. Este primer diodo está conectado indirectamente al primer terminal de polaridad positiva de la fuente a través de un primer interruptor y de un fusible. Cada circuito de conmutación comprende un segundo diodo conectado en modo directo desde la salida del punto central de la célula de conmutación interna del brazo auxiliar hasta un segundo terminal, punto común de los otros transistores en serie del brazo de conmutación principal. Este segundo diodo está conectado indirectamente al segundo terminal de polaridad negativa de la fuente a través del cuarto interruptor del brazo y del otro fusible. En funcionamiento normal, los medios de control asociados a los interruptores de las células de conmutación del brazo auxiliar están configurados de manera que regulan el punto neutro de tensión mediante el suministro de una corriente distribuida a los brazos de conmutación principales. Así, durante un funcionamiento normal los interruptores del brazo de conmutación auxiliar reciben corriente y la corriente atraviesa el brazo. El brazo auxiliar no actúa así según una redundancia pasiva en caliente sino según una redundancia activa no integrada.

**[0008]** En modo de emergencia, cuando en un brazo de conmutación principal en modo activo normal un interruptor entra en fallo, los fusibles primero y segundo del brazo de conmutación principal aíslan el brazo de la fuente eléctrica debido a que su característica en  $I_2t$  es inferior a la de las interconexiones chip-caja de los transistores de potencia. Los medios de control de los interruptores del brazo auxiliar y del brazo principal defectuoso están reconfigurados entonces de manera que el brazo auxiliar se sustituye por el brazo de conmutación principal defectuoso. En este caso, la fase correspondiente al fallo inicial permanece en modulación tres niveles pero no se asegura el suministro de un punto neutro a los otros dos brazos de conmutación principales. Estos últimos deben experimentar entonces un modo degradado conductor de una modulación de tres niveles a dos niveles. Además de forma perjudicial el paso en dos niveles requiere bien una desconexión del brazo auxiliar compleja de realizar, o bien el bloqueo permanente de los diodos por la conducción permanente de los transistores conectados a los fusibles. En el caso de un bloqueo permanente de los diodos, sólo los transistores internos conmutan y mantienen la tensión que debe sobredimensionarse así un 100% en tensión y debe preverse una disminución de corriente en modo de emergencia.

**[0009]** El objeto de la invención es mejorar de forma simple la fiabilidad y la continuidad de servicio de un convertidor estático en el que un componente activo en funcionamiento normal acaba de averiarse. Esto puede traducirse en la mejora de la fiabilidad de los medios de aplicación de la seguridad operativa del convertidor estático a través de un modo de emergencia automático.

**[0010]** La presente invención ofrece una solución en la que el brazo de emergencia es una redundancia pasiva que puede conectarse de forma muy simple e indiferentemente en cualquier brazo en fallo en paralelo, sin modo degradado ni reducción de esfuerzo, y sin que los otros brazos no averiados sean reconfigurados y sin que trabajen de modo degradado o ni resulten perjudicados.

**[0011]** Para este fin, la invención tiene por objeto un convertidor estático destinado a la conversión de energía eléctrica entre una fuente eléctrica de corriente continua o corriente alterna y una carga eléctrica. El convertidor estático comprende:

un brazo principal de conversión estático que incluye al menos una célula de conmutación electrónica de semiconductores provista de medios de control asociados, un primer terminal de entrada y un segundo terminal de entrada de alimentación, capaces de conectarse respectivamente a una primera polaridad y a una segunda polaridad de la fuente eléctrica, un terminal de salida conectado con una célula de conmutación de salida y capaz de conectarse a la carga eléctrica, estando cada célula de conmutación configurada a través de sus medios de control asociados para estar activa en un modo nominal predeterminado del convertidor, un par de componentes de aislamiento, asociado al brazo de conmutación principal, formado por un primer y un segundo componente de aislamiento que forman cada uno un dipolo, estando el primer componente de aislamiento y el segundo componente de aislamiento conectados directa y respectivamente con el primer terminal y el segundo terminal de entrada de alimentación del brazo principal.

**[0012]** El convertidor estático se caracteriza porque comprende:

un brazo de conversión de emergencia que incluye al menos una célula de conmutación electrónica de semiconductores provista de medios de control asociados, un primer terminal de entrada y un segundo terminal de entrada de alimentación, capaces de conectarse respectivamente a la primera polaridad y la segunda polaridad de la fuente eléctrica, un terminal de salida conectado con una célula de conmutación de salida, y

un circuito de conmutación electrónico de semiconductores que tiene un elemento de conexión conectado entre el terminal de salida del brazo de emergencia y un terminal de entrada del brazo principal entre el primer terminal de entrada y el segundo terminal de entrada del brazo principal.

5 **[0013]** El convertidor se caracteriza además porque:

la o las células de conmutación del brazo principal conectadas en serie entre el primer terminal de entrada y el segundo terminal de entrada son capaces cada una de presentar una impedancia permanente estable inferior a varias decenas de miliohmios cuando el brazo principal ha experimentado un fallo resultante de una fuga térmica o

10 un cortocircuito de uno de sus componentes semiconductores, y

los componentes de aislamiento del brazo principal están dimensionados de manera que aíslan el brazo principal después del transcurso de un primer periodo de tiempo  $t_1$  para el establecimiento de un modo de fallo de baja impedancia estable en la o las células de conmutación del brazo de conversión principal conectadas en serie y antes del transcurso de un segundo periodo de tiempo  $t_2$  para evitar la creación de una apertura de circuito en el brazo de conversión principal, y

15 conversión principal, y

los medios de control de la o las células de emergencia que forman el brazo de emergencia pueden desplegarse después del aislamiento del brazo de conversión principal que ha sufrido un fallo para sustituir parcialmente o en su totalidad el brazo principal,

20 el elemento de conexión está configurado para encontrarse en un estado bloqueado cuando el brazo principal está activo en el modo nominal y para encontrarse en un estado conductor cuando el brazo principal está en fallo y el brazo de emergencia se convierte en activo

**[0014]** Según formas de realización particulares, el convertidor estático incluye una o varias de las características siguientes:

25

- el elemento de conexión es un elemento comprendido en el conjunto constituido por un diodo, un tiristor, una asociación de dos tiristores montados en modo paralelo invertido y un transistor;

30 - los elementos semiconductores de las células de conmutación del brazo de emergencia de conversión están configurados para encontrarse en un estado bloqueado cuando el brazo principal está activo en el modo nominal y para sustituir parcialmente o en su totalidad el brazo principal después del aislamiento del brazo que ha sufrido un fallo;

35 - el convertidor comprende medios de ayuda para el aislamiento del brazo principal, incluyendo los medios de ayuda para el aislamiento

un tiristor auxiliar o una asociación de dos tiristores auxiliares montados en paralelo invertido, conectado en paralelo al primer terminal de entrada y el segundo terminal de entrada del brazo principal, montándose un tiristor auxiliar cuando la fuente de tensión es de corriente continua y usándose una asociación de dos tiristores auxiliares montados en modo paralelo invertido cuando la fuente de tensión es de corriente alterna, y

40 medios de control del tiristor auxiliar o de los dos tiristores auxiliares configurados de manera que si el brazo de conversión principal en fallo no es aislado simétricamente por el par de componentes de aislamiento que está asociado a él, crea un cortocircuito en los terminales de la carga para provocar un aislamiento simétrico por cada componente de aislamiento del par;

45 - el convertidor comprende para cada célula de conmutación del brazo de conversión principal medios de protección rápida asociados capaces de detectar una corriente de cortocircuito intolerable que circula a través de la célula con respecto a un valor de una corriente umbral predeterminada y de provocar la apertura de la célula de conmutación después de la detección de la superación de la corriente umbral;

50 - el convertidor comprende además medios de detección del brazo principal en fallo capaces de ordenar a los medios de control de las células de conmutación del brazo de emergencia que adopten la misma configuración de control que la del brazo detectado en fallo;

55 - el convertidor estático comprende al menos dos brazos principales, siendo cada brazo principal de estructura idéntica e incluyendo al menos una célula de conmutación electrónica provista de medios de control asociados, un primer terminal de entrada y un segundo terminal de entrada de alimentación capaces de conectarse respectivamente a la primera polaridad y la segunda polaridad de la fuente eléctrica, un terminal de salida de fase conectado con una célula de conmutación de salida capaz de conectarse a una fase distinta de la carga eléctrica, estando cada célula de conmutación configurada a través de sus medios de control para estar activa en un modo

60 nominal predeterminado del convertidor, y

el convertidor comprende para cada brazo de conversión principal, un par de componentes de aislamiento asociado y formado por un primer componente de aislamiento y un segundo componente de aislamiento que forman cada uno un dipolo, estando el primer componente de aislamiento y el segundo componente de aislamiento conectados

65 directa y respectivamente con el primer terminal de entrada y el segundo terminal de entrada, de alimentación, del brazo principal asociado, y el convertidor comprende un único brazo de conversión de emergencia que tiene al

menos una célula de conmutación de salida y un terminal de salida conectado con la célula de conmutación de salida, y el convertidor comprende para cada brazo de conversión principal un circuito de conmutación asociado que tiene un elemento de conexión conectado entre el terminal de salida del brazo de emergencia y el primer terminal de entrada del brazo de conversión principal asociado, y el convertidor comprende para cada brazo de conversión principal, medios de detección y de localización del brazo principal en fallo capaces de ordenar a los medios de control de las células de conmutación del brazo de emergencia que adopten la misma configuración de control que la del brazo detectado en fallo y localizado, y

la o las células de conmutación de un brazo principal cualquiera conectadas en serie entre el primer terminal de entrada y el segundo terminal de entrada son capaces cada una de presentar una impedancia permanente estable inferior a varias decenas de miliohmios cuando el brazo principal ha experimentado un fallo resultante de una fuga térmica o un cortocircuito de uno de sus componentes semiconductores, y los componentes de aislamiento de cada brazo principal están dimensionados de manera que aíslan el brazo principal después del transcurso de un primer periodo de tiempo  $t_1$  para el establecimiento de un modo de fallo de baja impedancia estable en la o las células de conmutación del brazo principal y antes del transcurso de un segundo periodo  $t_2$  para evitar la creación de una apertura de circuito en el brazo de conversión principal, y

los medios de control de la o las células de emergencia que forman el brazo de emergencia pueden desplegarse después del aislamiento de uno cualquiera de los brazos principales que ha sufrido un fallo para sustituir parcialmente o en su totalidad el brazo principal que ha sufrido un fallo, y

el elemento de conexión o los dos elementos de conexión de cada circuito de conmutación asociado a un brazo principal están configurados para encontrarse en un estado bloqueado cuando el brazo principal está activo en el modo nominal y en un estado conductor cuando el brazo principal está en fallo y el brazo de emergencia se convierte en activo;

- el convertidor estático comprende

un primer número  $N$  superior o igual a dos de los brazos de conmutación principales, un segundo número  $K$  de brazos de conmutación de emergencia superior o igual a dos, un mismo segundo número  $K$  de circuito de conmutación, estando cada circuito de conmutación asociado a un brazo de conmutación principal distinto, siendo el primer número  $N$  superior o igual al primer número  $K$ , y

cada brazo principal es de estructura idéntica e incluye al menos una célula de conmutación electrónica provista de medios de control asociados, un primer terminal de entrada y un segundo terminal de entrada de alimentación capaces de conectarse respectivamente a la primera polaridad y la segunda polaridad de la fuente eléctrica, un terminal de salida de fase conectado con una célula de conmutación de salida capaz de conectarse a una fase distinta de la carga eléctrica, estando cada célula de conmutación configurada a través de sus medios de control para estar activa en un modo nominal predeterminado del convertidor, y

el convertidor comprende para cada brazo de conversión principal, un par de componentes de aislamiento asociado y formado por un primer componente de aislamiento y un segundo componente de aislamiento que forman cada uno un dipolo, estando el primer componente de aislamiento y estando el segundo componente de aislamiento conectados directa y respectivamente con el primer terminal de entrada y el segundo terminal de entrada, de alimentación, del brazo principal asociado; y

cada brazo de emergencia incluye al menos una célula de conmutación electrónica de semiconductores provista de medios de control asociados, un primer terminal de entrada y un segundo terminal de entrada de alimentación, capaces de conectarse respectivamente a la primera polaridad y la segunda polaridad de la fuente eléctrica, un terminal de salida conectado con una célula de conmutación de salida; y cada circuito de conmutación asociado a un brazo principal es un multipolo electrónico de semiconductores que comprende  $K$  elementos de conexión, cada elemento de conexión es un tiristor cuando la fuente de tensión es de corriente continua y una asociación de dos tiristores montados en modo paralelo invertido cuando la fuente de tensión es de corriente alterna, cada circuito de conmutación comprende medios de control asociados a los tiristores,

cada elemento de conexión de un mismo circuito de conmutación incluye una entrada conectada a la salida de un brazo de emergencia diferente y una salida conectada a la primera entrada del brazo de conmutación principal al que está asociado el circuito de conmutación,

los medios de control de los tiristores de los circuitos de conmutación están configurados para encontrarse en un estado bloqueado cuando los brazos principales a los que están asociados están activos;

los medios de control de los tiristores de los circuitos de conmutación están configurados de manera que cuando un brazo de conmutación principal cualquiera conectado a un conmutador tiene un fallo, puede ser asistido por uno cualquiera de los brazos de emergencia todavía no convertido en activo;

- el convertidor es un inversor que puede conectarse a una fuente de tensión de corriente continua y suministrar a una carga eléctrica una corriente alterna en al menos una fase,

5 el primer terminal de entrada y el segundo terminal de entrada de alimentación de un brazo principal pueden conectarse respectivamente a una primera polaridad positiva y una segunda polaridad negativa de la fuente eléctrica;

10 cada célula de conmutación de un brazo principal o de un brazo de emergencia comprende un par de interruptores bidireccionales de corriente montados en serie, estando cada interruptor bidireccional de corriente formado por un interruptor controlado y un diodo asociado montado en antiparalelo, siendo cada interruptor controlado un elemento comprendido en el conjunto formado por tiristores, transistores de tipo IGBT, transistores de tipo MOS;

15 los medios de control de las células de conmutación del o de los brazos principales están configurados de manera que el convertidor funciona como inversor en una o varias fases;

20 el circuito de conmutación incluye un primer elemento de conexión semiconductor unidireccional de corriente no controlado y un segundo elemento de conexión semiconductor unidireccional de corriente no controlado, estando el primer elemento de conexión conectado en modo directo desde la salida del brazo de emergencia al primer terminal de entrada del brazo principal, estando el segundo elemento de conexión conectado en modo inverso desde la salida del brazo de emergencia hacia el segundo terminal de entrada negativa del brazo principal;

- el convertidor es un troceador (*chopper*) que puede conectarse a una fuente de tensión de corriente continua y suministrar a una carga eléctrica una corriente continua en al menos una fase de salida,

25 el primer terminal de entrada y el segundo terminal de entrada de alimentación de un brazo principal pueden conectarse respectivamente a una primera polaridad positiva y una segunda polaridad negativa de la fuente eléctrica,

30 cada célula de conmutación de un brazo principal o de un brazo de emergencia comprende un interruptor bidireccional montado en serie con un diodo o un segundo interruptor, estando cada interruptor bidireccional de corriente formado por un interruptor controlado y un diodo asociado montado en antiparalelo, siendo cada interruptor controlado un elemento comprendido en el conjunto formado por tiristores, transistores de tipo IGBT, transistores de tipo MOS;

35 los medios de control de las células de conmutación del o de los brazos principales están configurados de manera que el convertidor funciona como troceador,

40 el circuito de conmutación asociado a un brazo principal comprende un único elemento de conexión de semiconductores configurado para ser unidireccional en corriente, estando el elemento de conexión unidireccional conectado en modo directo desde la salida del brazo de emergencia al primer terminal de entrada del brazo de conversión principal asociado;

45 - el convertidor es un convertidor de la familia c.a./c.a. capaz de convertir la energía eléctrica entre una fuente de tensión a corriente alterna y de suministrar a una carga eléctrica una corriente alterna en al menos una fase de salida,

50 el primer terminal de entrada y el segundo terminal de entrada de alimentación de un brazo principal cualquiera pueden conectarse respectivamente a una primera polaridad positiva y una segunda polaridad negativa de la fuente eléctrica;

55 cada célula de conmutación de un brazo principal o de un brazo de emergencia comprende un par de interruptores bidireccionales de corriente montados en serie, estando cada interruptor bidireccional de corriente formado por un interruptor controlado y un diodo asociado montado en antiparalelo, siendo cada interruptor controlado un elemento comprendido en el conjunto formado por tiristores, transistores de tipo IGBT, transistores de tipo MOS;

los medios de control de las células de conmutación del o de los brazos principales están configurados de manera que el convertidor funciona como un convertidor de tensión de tipo c.a./c.a. sobre una o varias fases de salida,

60 el circuito de conmutación incluye un primer elemento de conexión semiconductor bidireccional de corriente y un segundo elemento de conexión semiconductor bidireccional de corriente y en tensión, estando el primer elemento de conexión conectado desde la salida del brazo de emergencia al primer terminal de entrada del brazo principal, estando el segundo elemento de conexión conectado en modo inverso desde la salida del brazo de emergencia hacia el segundo terminal de entrada negativa del brazo principal.

65 **[0015]** La invención tiene asimismo por objeto un procedimiento de aplicación de mantenimiento en servicio de un convertidor estático tal como se define anteriormente, caracterizado porque comprende las etapas que

consisten en que:

- los medios de control de los interruptores controlados de las células de conmutación de los brazos principales están configurados de manera que el convertidor estático funciona de forma nominal en los brazos principales cuando ninguno de los componentes de potencia que forman los brazos principales tiene un fallo,
- cuando se produce un fallo en un interruptor de una célula principal, todos los interruptores del brazo principal al que pertenece el interruptor defectuoso y conectados en serie, se ponen en cortocircuito durante un tiempo  $t$  de obtención del aislamiento del brazo principal que ha sufrido un fallo, superior a un primer tiempo  $t_1$  para que el brazo principal alcance un estado estable y permanente de conductor de muy baja impedancia inferior a varias decenas de miliohmios, e inferior a un segundo periodo  $t_2$  por debajo del cual se conserva la integridad de los componentes del brazo principal defectuoso así como el estado conductor alcanzado por el brazo principal defectuoso,
- los interruptores de emergencia configurados en la misma configuración que la de los interruptores del brazo principal en fallo están conectados automáticamente por el circuito de conmutación del brazo principal defectuoso convertido en un conductor estable.

**[0016]** La originalidad del concepto de la invención reside en una estructura única de circuito redundante en modo pasivo (redundancia pasiva por circuito latente) cuya conexión se establece espontáneamente y de forma muy sencilla para resolver el fallo de un número cualquiera de células de conmutación activas conectadas al único circuito redundante. Esta conexión de emergencia aprovecha la propiedad de primer fallo en cortocircuito de los chips de potencia a los que se asocian diodos o tiristores de conmutación que permiten conmutar espontáneamente del modo normal al modo de emergencia. Esta innovación persigue simplificar las soluciones habituales de redundancia por una complejidad reducida y un sobrecoste bajo. El concepto puede encontrar un campo extenso de aplicaciones para las aplicaciones denominadas «sensibles» en las que deben conciliarse la seguridad de funcionamiento y la continuidad de servicio, sin sobrecoste excesivo y con fiabilidad global controlada.

**[0017]** La invención se comprenderá mejor con la lectura de la descripción que se ofrece a continuación, ofrecida únicamente a modo de ejemplo y hecha en referencia a los dibujos en los que:

- la figura 1 es un esquema eléctrico parcial de un convertidor estático comprendido entre los convertidores de tensión alterna-alterna (c.a./c.a.), los inversores (c.c./c.a.) y los troceadores (c.c./c.c./) según la invención;
- la figura 2 es un esquema eléctrico de una primera forma de realización del convertidor de la figura 1, la de un inversor de salidas trifásicas con redundancia de un brazo de emergencia;
- la figura 3 es un esquema eléctrico de una variante del inversor de la figura 2;
- la figura 4 es un esquema eléctrico parcial de una variante del inversor de la figura 3;
- la figura 5 es un esquema eléctrico de una variante del inversor de la figura 4;
- la figura 6 es un esquema eléctrico de una segunda forma de realización del convertidor de la figura 2, la de un inversor que tiene fases multiniveles;
- la figura 7 es un esquema eléctrico de una segunda forma de realización del convertidor de la figura 1, la de un troceador monocelular con redundancia de un brazo de emergencia,
- la figura 8 es un esquema eléctrico de una tercera forma de realización del convertidor de la figura 1, la de un convertidor estático de tres troceadores paralelos monofásicos del tipo descrito en la figura 7 con un brazo de emergencia compartido;
- la figura 9 es un esquema eléctrico de una variante del convertidor de la figura 8;
- la figura 10 es un esquema eléctrico de una cuarta forma de realización del convertidor de la figura 1, la de un inversor trifásico de tolerancia de avería doble;
- la figura 11 es un esquema eléctrico de una variante del inversor de la figura 10;
- la figura 12 es un esquema eléctrico de una quinta forma de realización del convertidor de la figura 1, la de un convertidor de tensión c.a./c.a.;
- la figura 13 es un esquema eléctrico de un rectificador multicelular que usa el concepto de la invención alimentado por una fuente de corriente trifásica;
- la figura 14 es un esquema eléctrico de un rectificador monocelular que usa el concepto de la invención, alimentado por una fuente a corriente monofásico;
- la figura 15 es un organigrama de un procedimiento de mantenimiento del funcionamiento del convertidor de la figura 1.
- la figura 16 es un esquema eléctrico de un inversor trifásico de tipo ANPC.

**[0018]** Según la figura 1, un convertidor estático 2 está conectado entre una fuente eléctrica 4 de tensión y una carga eléctrica 6.

**[0019]** La fuente de tensión 4 es bien una fuente de tensión continua o bien una fuente de tensión alterna.

**[0020]** Cuando la fuente de tensión 4 es una fuente de tensión continua, la carga 6 es alimentada en este caso por una tensión alterna y el convertidor estático de tipo c.c./c.a. se denomina inversor.

**[0021]** Cuando la fuente de tensión 4 es una fuente de tensión alterna, la carga 6 es alimentada en este caso por una tensión alterna y el convertidor estático es de tipo c.a./c.a..

**[0022]** Como variante, cuando la fuente de tensión 4 es continua y la carga 6 es alimentada por una tensión continua cuyo nivel es ajustable, el convertidor estático es de tipo c.c./c.c. y se denomina troceador.

**[0023]** El convertidor estático 2 está conectado en entrada a una primera polaridad 8 y una segunda polaridad 10 de la fuente eléctrica 4 y en salida está conectado a al menos un terminal eléctrico de entrada 12 de la carga eléctrica 6.

10

**[0024]** El convertidor estático 2 comprende un brazo principal de conversión estático 16, un brazo de conversión estático de emergencia 18, un par de componentes de aislamiento 20 asociada al brazo principal 16, un par de componentes de aislamiento 22 asociado al brazo de emergencia 18, medios de detección y de localización 24 de un brazo principal 16 en fallo, un circuito de conmutación 26 de semiconductores y medios de ayuda para el aislamiento 28 del brazo principal 16.

15

**[0025]** El brazo principal 16 de conversión estático incluye un primer terminal de entrada de alimentación 30 y un segundo terminal de entrada de alimentación 32 conectados respectiva e indirectamente a la primera polaridad 8 y a la segunda polaridad 10 de la fuente eléctrica 4 y un terminal de salida 34 conectado al terminal de entrada 12 de la carga eléctrica 6 y capaz de suministrar una corriente de salida.

20

**[0026]** El brazo principal 16 comprende una célula de conmutación electrónica de semiconductores de salida 36 provista de un medio de control asociado 38 y conectado al terminal de salida 34 del brazo principal, y en su caso otras células de conmutación representadas por línea discontinua en la figura 1 y provistas de medios de control asociados no representados. Cada célula de conmutación, comprendida la célula de conmutación de salida 36, está configurada a través de sus medios de control asociados para estar activa en un modo nominal predeterminado del convertidor estático 2.

25

**[0027]** De forma clásica, una célula de conmutación electrónica comprende dos interruptores electrónicos, conectados entre una fuente de tensión, en este caso la fuente 4, y una fuente de corriente, en este caso la carga 6, en los que se controla uno y sólo uno. Estos interruptores son a priori cualesquiera y en el plano de la orden, los interruptores de una misma célula de conmutación no pueden ser abiertos ni cerrados simultáneamente.

30

**[0028]** En este caso, la célula de conmutación de salida 36 comprende un primer interruptor electrónico 40 y un segundo interruptor electrónico 42, conectados en serie por un punto central 43 conectado al terminal de salida 34.

35

**[0029]** El primer interruptor 40 está conectado directa o indirectamente al primer terminal de entrada de alimentación 30 opuesto al punto central 43 y al terminal de salida 34.

40

**[0030]** El segundo interruptor 42 está conectado directa o indirectamente al segundo terminal de entrada de alimentación 32 opuesto al punto central 43 y al terminal de salida 34.

**[0031]** El primer interruptor electrónico 40 es un interruptor controlado mientras que el segundo interruptor está controlado o no controlado.

45

**[0032]** Un interruptor controlado es un elemento electrónico de semiconductores comprendido en el conjunto formado por tiristores, transistores de tipo IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), transistores de tipo MOS (Metal Oxide Silicon) y GTO (Gate Turn Off).

50

**[0033]** Cuando el segundo interruptor 42 es controlado, el convertidor es un inversor.

**[0034]** Cuando el segundo interruptor 42 no es controlado, es un diodo, y el convertidor es un troceador.

**[0035]** Los medios de control 38 de la célula de conmutación de salida 36 del brazo principal se descomponen en primeros medios de control 44 asociados al primer interruptor 40 y en su caso segundos medios de control 46 asociados al segundo interruptor 42.

55

**[0036]** Cada célula de conmutación del brazo principal 16 es capaz de presentar un estado estable y permanente que tiene una impedancia permanente estable inferior a varias decenas de miliohmios cuando el brazo de conversión ha experimentado un fallo resultante de una fuga térmica o un cortocircuito de uno de sus componentes semiconductores, y que se ha puesto provisionalmente en cortocircuito entre los terminales de la fuente de tensión. Así, después de un primer fallo no deseado en un primer componente de potencia del brazo principal y una cascada de fallos ulteriores deseados en los componentes de potencia del brazo conectados en serie entre el primer terminal de entrada y el segundo terminal de entrada, el brazo principal en fallo puede convertirse en una línea conductora de potencia.

60

65



- [0037]** El brazo de conversión estático de emergencia 18 puede tener una estructura idéntica a la del brazo principal 16 o una estructura reducida al mínimo estricto con el mínimo de componentes que aseguran la conversión requerida, con el fin de no degradar la fiabilidad y aportar un sobrecoste. En efecto, al ser la redundancia pasiva, conviene simplificar al máximo su estructura ya que está inactiva con funcionamiento normal del convertidor.
- [0038]** El brazo de conversión estático de emergencia 18 comprende un primer terminal de entrada de alimentación 50, un segundo terminal de entrada de alimentación 52, un terminal de salida 54, una célula de conmutación electrónica de semiconductores de salida 56 provista de medios de control asociados 58 y en su caso otras células de conmutación representadas por líneas discontinuas en la figura 1 y provistas de medios de control asociados no representados.
- [0039]** La célula de conmutación de salida 56 del brazo de emergencia 18 comprende un primer interruptor electrónico 60 y un segundo interruptor electrónico 62 conectados en serie por un punto central 63.
- [0040]** El primer interruptor 60 está conectado directa o indirectamente al primer terminal de entrada de alimentación 50 opuesto al punto central 63 y al terminal de salida 54.
- [0041]** El segundo interruptor 62 está conectado directa o indirectamente al segundo terminal de entrada de alimentación 52 opuesto al punto central 63 y al terminal de salida 54.
- [0042]** Los medios de control 58 de la célula de conmutación de salida 56 se descomponen en primeros medios de control 64 asociados al primer interruptor 60 y segundos medios de control 66 asociados al segundo interruptor 62.
- [0043]** Los medios de control de la o las células de emergencia que forman el brazo de emergencia 18 pueden desplegarse después del aislamiento del brazo de conversión principal 16 que ha sufrido un fallo para sustituir parcialmente o en su totalidad el brazo principal 16.
- [0044]** Los elementos que componen el brazo de emergencia 18 descritos anteriormente están interconectados entre sí, y conectados a la fuente 4 y a la carga 6 de forma análoga a los elementos que componen el brazo principal de conversión 16.
- [0045]** El par de componentes de aislamiento 20, asociado al brazo principal de conversión 16, está formado por un primer componente de aislamiento 70 y un segundo componente de aislamiento 72 que forman cada uno un dipolo pasivo. El primer componente de aislamiento 70, el segundo componente de aislamiento 72 respectivamente, está conectado directamente entre la primera polaridad 8 de la fuente 4 y el primer terminal de entrada 30 del brazo principal 16, respectivamente la segunda polaridad 10 de la fuente 4 y el segundo terminal de entrada 32 del brazo principal 16.
- [0046]** Los componentes de aislamiento 70, 72 del brazo principal están dimensionados de manera que aíslan el brazo principal después del transcurso de un primer periodo de tiempo  $t_1$  para el establecimiento de un modo de fallo de baja impedancia estable en la o las células de conmutación que forman el brazo de conmutación principal 16 y antes del transcurso de un segundo periodo de tiempo  $t_2$  para evitar la creación de una apertura de circuito en el brazo de conmutación principal 16.
- [0047]** El par de componentes de aislamiento 22, asociado al brazo de emergencia 18, está formado por un primer componente de aislamiento 74 y un segundo componente de aislamiento 76 que forman cada uno un dipolo pasivo. El primer componente de aislamiento 74, el segundo componente de aislamiento 76 respectivamente, está conectado directamente entre la primera polaridad 8 de la fuente 4 y el primer terminal de entrada 50 del brazo de emergencia 18, respectivamente la segunda polaridad 10 de la fuente 4 y el segundo terminal de entrada 52 del brazo de emergencia 18.
- [0048]** Un componente de aislamiento es un componente comprendido en la familia constituida por fusibles, disyuntores electrónicos, seccionadores-ruptores y una combinación cualquiera de estos últimos.
- [0049]** Los medios de detección y de localización 24 de un brazo principal 16 en fallo pueden detectar un brazo en fallo y la localización del brazo en fallo.
- [0050]** Existen diversas formas de realización de medios de detección y de localización 24.
- [0051]** Por ejemplo, los medios de detección y de localización 24 de un brazo principal en fallo comprenden percutores de fusibles 70, 72 y una electrónica de interfaces hacia los medios de control 58 del brazo de emergencia 18. Un percutor permite accionar mecánicamente un contacto eléctrico auxiliar de forma sencilla y económica.
- [0052]** Otra forma de preparar los medios de detección consiste en el uso de señales «bandera de fallo» (en

- inglés «Flag default») suministradas por protecciones de cortocircuito implantadas en las distintas fichas de los interruptores disponibles en el comercio. Una señal de bajo nivel de tipo «Bandera» (en inglés «Flag») aislada eléctricamente cambia de nivel de forma permanente cuando se detecta un fallo a través de una variación característica de una corriente de un dispositivo de pilotaje (en inglés «driver»), y permite una interfaz sencilla y económica con los medios de control de los interruptores del brazo de emergencia. Debe resaltarse que la tendencia actual se dirige hacia protecciones totalmente programables mediante plantillas en términos de umbrales de tiempo-amplitud  $V_{cesat}$ , con una mayor inmunidad a los parásitos en las fases de conmutación, de manera que  $V_{cesat}$  designa la tensión de colector-emisor del dispositivo de pilotaje en saturación.
- 10 **[0053]** En otra forma de realización, los medios de detección y de localización 24 de un brazo principal en fallo son un circuito que comprende un divisor de tensión, un detector de diodos, un transistor o comparador y un optoacoplador que actúa como interfaz de entrada para los medios de control de los interruptores del brazo de emergencia. Dicho circuito puede detectar simplemente una forma de onda anormal en la célula de conmutación por la comparación y un umbral de amplitud-tiempo entre la señal de control de la célula de conmutación supervisada del brazo principal y la tensión de salida instantánea de la célula de conmutación.
- 15 **[0054]** Como variante, en el caso de un convertidor estático en el que el brazo principal que necesita apoyo está fijado, por ejemplo en el caso en el que el convertidor comprende un único brazo principal de conversión, se omiten los medios de detección y localización 24 del brazo en fallo y los medios de control de los interruptores del brazo de emergencia 18 están activos durante el funcionamiento normal activo del brazo principal, estando configurados de manera idéntica.
- 20 **[0055]** El circuito de conmutación 26 comprende al menos un elemento de conexión conectado entre la salida 54 del brazo de emergencia y un terminal de entrada del brazo principal 16 entre el primer terminal de entrada 30 y el segundo terminal de entrada 32 del brazo principal 16. El elemento de conexión está comprendido en el conjunto de elementos de semiconductores constituido por diodos, tiristores, la asociación de dos tiristores montados en modo paralelo invertido y los tiristores.
- 25 **[0056]** Cada elemento de conexión está configurado para encontrarse en un estado bloqueado cuando el brazo principal está activo en un modo normal de funcionamiento, es decir, sin fallo en el brazo principal.
- 30 **[0057]** Cada elemento de conexión está configurado para encontrarse en un estado conductor cuando el brazo principal está en fallo y el brazo de emergencia se vuelve activo.
- 35 **[0058]** En la figura 1, el circuito de conmutación 26 incluye un primer elemento de conexión 80 y un segundo elemento de conexión 82.
- 40 **[0059]** El primer elemento de conexión 80 está conectado directamente entre el terminal de salida 54 del brazo de emergencia 18 y el primer terminal de entrada 30 del brazo principal 16.
- 45 **[0060]** El segundo elemento de conexión 82 está conectado directamente entre el terminal de salida 54 del brazo de emergencia 18 y el segundo terminal de entrada 32 del brazo principal 16.
- 50 **[0061]** La configuración de la figura 1 de dos elementos de conexión es la de un circuito de conmutación adecuado para un inversor c.c./c.a. o para un convertidor de tipo c.a./c.a..
- 55 **[0062]** En el caso de un inversor, el circuito de conmutación 26 está formado por ejemplo por dos diodos.
- 60 **[0063]** En el caso de un circuito de tipo c.a./c.a., el circuito de conmutación 26 es por ejemplo un par de dos asociaciones de tiristores montados en paralelo invertido.
- 65 **[0064]** Como variante, los segundos interruptores del brazo principal y del brazo de emergencia son diodos y se omite el segundo elemento unidireccional. Esta configuración corresponde a la de uno o varios troceadores en paralelo.
- [0065]** Como variante, se omite el par de componentes de aislamiento asociado al brazo de emergencia.
- [0066]** Los medios de ayuda para el aislamiento 28 del brazo principal 16 comprenden un tiristor auxiliar 90 de ayuda al aislamiento del brazo principal de conversión 16, conectado en paralelo al primer terminal de entrada 30 y el segundo terminal de entrada 32 del brazo principal 16, y medios de control 92 del tiristor auxiliar 90 de ayuda al aislamiento.
- [0067]** Los medios de control 92 del tiristor auxiliar están configurados de manera que si el brazo de conmutación principal 16 cuando entra en fallo no es aislado simétricamente por el par de componentes de aislamiento que está asociado a él, crea un cortocircuito en los terminales de la carga 8 para provocar el aislamiento simétrico por los dos componentes de aislamiento, en particular cuando los componentes de aislamiento son

fusibles.

- [0068]** En el plan de la seguridad de funcionamiento del convertidor estático, la situación crítica o la avería crítica corresponde a la puesta en cortocircuito de la fuente de tensión 4 de corriente continua (Vcc). Esta situación puede aparecer de dos maneras: la primera, de forma externa por un control en fallo de uno o de varios de los medios de control del brazo principal 16 que llevan a la puesta en conducción de dos interruptores de una misma célula de conmutación, por ejemplo los dos interruptores 40 y 42 de la célula 36 y durante un tiempo suficientemente largo para provocar la fuga térmica y el fallo en cascada de los dos interruptores electrónicos en forma de chips; la segunda, de forma interna por el fallo inicial de una de las interruptores de potencia (transistor o diodo en régimen de avalancha o de fuga térmica, cortocircuito de la carga 6 o fallo «franco» de aislamiento a tierra) provocando a su vez la puesta en cortocircuito del interruptor homólogo, su fallo, y después la puesta en cortocircuito de la fuente de 4 Vcc.
- [0069]** En la figura 1 el segundo interruptor 42 es homólogo al primer interruptor 40 de la célula de salida 36.
- [0070]** La puesta en seguridad de una célula en fallo según la invención se obtiene evitando el cortocircuito «duradero» de la fuente 4 Vcc así como el régimen transitorio aplicado a la carga 6 conectado con la fuente 4 Vcc a través del brazo principal 16 en fallo.
- [0071]** La puesta en seguridad comprende una etapa que consisten en limitar esta corriente de cortocircuito y aislar espontáneamente el brazo principal 16 por los dos componentes de aislamiento conectados a las dos polaridades de la fuente de tensión. De manera general, la función de aislamiento se realiza en dos vías para aislar simétricamente el brazo principal, de forma simultánea y espontánea por fusible, o por un control en modo ruptor.
- [0072]** En modo fusible, es preciso observar en este camino que el fallo se produce en cascada de chips de potencia, con independencia de su origen, y provoca un efecto «palanca» de ayuda a la disyunción (en inglés «crowbar»), es decir, un fallo completo y simétrico de la célula, aprovechado en este caso para activar espontáneamente los dos fusibles en los dos polos. La tecnología de estos fusibles no se detalla en este caso. Estos fusibles pueden ser externos a los componentes que forman los interruptores (fusible de tipo Protistor™, fusible de barra de bus (en inglés «busbar fuse») y al brazo principal 16 (solución no invasiva y opcional)), o bien integrados en el seno de los componentes (conexión del fusible, fusible de chip pequeño (en inglés «little chip fuse»), fusible montado en DBC (en inglés «Direct Bonding Copper») y otro sustrato,...) o realizados directamente en el DBC por mecanizado, por ablación láser o por fotolitografía.
- [0073]** Para desempeñar su función, esta etapa de aislamiento debe ser suficientemente rápida, es decir, tener un tiempo de aplicación del aislamiento efectivo del brazo principal inferior al segundo tiempo t2 para evitar cualquier ruptura de la conexión filar interna en los componentes y cualquier riesgo de explosión del encapsulado (riesgo de sobretensión excesiva y de proyección de metal, resina de alta temperatura) que lleva a un circuito abierto no deseado. No obstante, la presencia de medios de ayuda para el aislamiento 28 del brazo principal 16, por ejemplo realizado en forma del tiristor auxiliar 90 y de diodos del brazo principal 16 no representados en la figura 1 permiten en este caso ofrecer un camino de conducción en modo de emergencia incluso si los interruptores del brazo principal están en circuito abierto tras un fallo de tipo «circuito abierto» o en fusibles incorrectamente dimensionados.
- [0074]** Otro modo de aislamiento existe para resolver el riesgo de fracaso al aislamiento entre los tiempos t1 y t2. Consiste en abrir el brazo justo después de t1 por el interruptor homólogo al fallo y por su protección de cortocircuito en su medio de pilotaje (denominado driver en inglés). El brazo principal 16 se encuentra así en un estado de fallo asimétrico y para alcanzar el estado de aislamiento simétrico es necesario entonces encender el tiristor 90 que permite una conducción de emergencia por sí mismo y los diodos del brazo principal 16.
- [0075]** Las características de I2T y poder de corte de los fusibles están determinadas de forma que garanticen que la duración del establecimiento del aislamiento del brazo t es inferior al segundo tiempo.
- [0076]** Si se cumple esta condición de selectividad definida por el respeto del tiempo de aislamiento inferior al segundo tiempo t2, los chips en fallo del brazo principal pueden presentarse en un estado resistivo de valor muy bajo (por experiencia de algunos mΩ a varias decenas de mΩ) dependiendo de la densidad de energía disipada en la zona de fallo de los chips y de las características tecnológicas que rodean a los chips y del tiempo t de aislamiento del brazo principal.
- [0077]** El tipo de metalización, por ejemplo una capa de aluminio o de aleaciones en conexión «cobre plano de capa gruesa» tales como las aleaciones de aluminio-silicio, aluminio-cobre, aluminio-titanio-cobre, el grosor de metalización, el tipo de interconexión (por ejemplo conexión por hilos soldados (en inglés «wirebonding»), conexión por cinta, conexión por tamponamiento (en inglés «bump»), conexión por micropostes, conexión por rejilla de conexión (en inglés «leadframe»), conexión por bolas de una red de bolas (en inglés «flip-chip BGA»), por capa de cobres (contacto por electrodeposición o la técnica Overlay - GE (dar el sentido del acrónimo GE), las dimensiones de la interconexión, el tipo de reporte (chip soldado o prensado) y el tipo de encapsulación (en resina masiva o en un

gel de silicona) influirán igualmente en la estabilidad en el tiempo de esta resistencia de fallo de la línea de potencia del brazo principal conductor así formado si esta línea conductora del brazo principal 16 está dirigida a asegurar una función de conducción de emergencia.

- 5 **[0078]** Una duración mínima de cortocircuito del brazo principal, es decir, el primer tiempo  $t_1$  debe garantizarse igualmente de forma que la generación del modo de fallo de baja impedancia estable y permanente de los chips en fallo haya tenido tiempo de establecerse.
- 10 **[0079]** En otros términos, en particular en modo de fusible, la duración de establecimiento del aislamiento  $t$  por los fusibles 70, 72 debe ser superior al primer tiempo  $t_1$  correspondiente a la duración mínima requerida para la realización de un estado baja impedancia de la totalidad de chips en serie del brazo principal e inferior a la segunda tiempo  $t_2$ .
- 15 **[0080]** Así, la explotación de este modo de fallo «en muy baja impedancia» de los chips en fallo del brazo principal 16 permite asegurar un mantenimiento de la misión del convertidor por una conexión original «en serie» del brazo de emergencia 18 en redundancia pasiva, es decir, no solicitada durante el funcionamiento activo normal del brazo principal pero que debe soportar la tensión en el estado bloqueado.
- 20 **[0081]** La disposición de los dos componentes de aislamiento asociados al brazo principal en las dos polaridades de la fuente 4 y la disposición de los elementos de conexión del circuito de conmutación en bifurcación directa en los terminales de fusibles opuestos a las polaridades de la fuente ofrecen la ventaja de poder conectar espontáneamente el brazo de emergencia con el terminal de salida del brazo principal, simplemente por medio de dos elementos de conexión simples en su estructura y en sus medios auxiliares de control, y chips en fallo del brazo principal asistido.
- 25 **[0082]** De manera preferente, en funcionamiento normal del convertidor, es decir, cuando no hay avería, los medios de control 58 de los interruptores del brazo de emergencia 18 están configurados de manera que el brazo de emergencia se coloca en un estado de espera con el mínimo de restricción en los componentes de potencia.
- 30 **[0083]** Por ejemplo, los medios de control 58 de los interruptores del brazo de emergencia 18 están configurados de manera que sus transistores y sus diodos se mantienen en un estado estático bloqueado.
- 35 **[0084]** Así, en modo pasivo, todos los componentes latentes del brazo de emergencia, comprendido el circuito de conmutación, se reparten la tensión común de la fuente 4 y sólo soportan una tensión reducida de la mitad  $V_{cc}/2$  filtrada por el bus de entrada de la fuente y privada así de variación de tensión con respecto al tiempo, designada por  $dv/dt$ . De este modo se reducirá la corriente de fuga para estos componentes de asiento evitando el riesgo de fuga térmica estático si llegara a elevarse la temperatura de la caja. Además, en modo de emergencia, los elementos de conexión conducen cada uno a su vez la corriente de carga sin ningún esfuerzo de conmutación. En el caso de un funcionamiento en modo inversor o troceador del convertidor de los diodos de rectificación clásicos son
- 40 muy apropiadas para desarrollar la función de los elementos de conexión del circuito de conmutación, cuyos diodos de conexión poseen además una corriente de fuga y un nivel de fuga térmica más favorables que los diodos de conmutación del mismo calibre.
- 45 **[0085]** Para ser viable, dicho funcionamiento debe basarse en opciones tecnológicas que permitan asegurar una baja resistencia de fallo a una corriente significativa y de manera permanente durante un tiempo significativo.
- 50 **[0086]** En el marco de las aplicaciones que se basan en un modo de redundancia activa integrada, se han desarrollado tecnologías de metalización gruesa, de tamponamiento («bumps» en inglés) o chip prensado. Son muy favorables y aprovechan igualmente la propiedad de baja impedancia de un chip en fallo. Estas tecnologías son aplicables a la invención.
- 55 **[0087]** Debe resaltarse que la tecnología de conexión por hilos soldados (en inglés wire-bonding) en curso de evaluación para los dos tipos de encapsulado que son la resina masiva y el gel de silicona ha proporcionado ya resultados prometedores.
- 60 **[0088]** En el caso en que no se reúnan las características tecnológicas para garantizar una conducción viable de los chips en fallo, la inclusión del tiristor auxiliar 90 permite por una parte una ayuda parcial o completa para el aislamiento de los terminales de polaridad de la fuente 4, y por otra parte, una conexión en serie mediante diodos del brazo principal en fallo en redundancia y en paralelo con los transistores en fallo. Esta estrategia supone que los diodos no estén en fallo o, más concretamente, que su tasa de fallo sea claramente más baja que la de los transistores en el tiempo de funcionamiento considerado. La inclusión de este tiristor auxiliar permite igualmente sortear el fallo de la cadena de control procurada por los transistores (ausencia de control, control degradado o control errático) lo que amplía el campo de interés.
- 65 **[0089]** Según la figura 2, el convertidor estático es un inversor trifásico 102 conectado entre una fuente 104 de tensión continua y una carga a entradas trifásicas no representada.

- [0090]** El inversor 102 comprende tres brazos principales 106, 108, 110 de conversión estático y un brazo de emergencia 112 de estructura idéntica.
- 5 **[0091]** El inversor comprende igualmente componentes de aislamiento 114, 116, 118, 120, 122, 124, 126, 128 que en este caso son fusibles y que se asocian dos a dos con cuatro pares distintos, y tres circuitos de conmutación 130, 132, 133.
- [0092]** Cada brazo principal 106, 108, 110 está conectado entre un único terminal de polaridad positiva 134 y  
10 un único terminal de polaridad negativa 135 de la fuente 104 a través de un par respectivo diferente de fusibles, los fusibles 114, 116 para el brazo 106, los fusibles 118, 120 para el brazo 108 y los fusibles 122, 124 para el brazo principal 110.
- [0093]** El brazo de emergencia 112 está conectado entre el terminal de polaridad positiva 134 y el terminal de  
15 polaridad negativa 135 de la fuente 104 a través del par de fusibles 126, 128 y comprende un terminal de salida 136.
- [0094]** Cada brazo principal 106, 108, 110 y el brazo de emergencia 112 comprenden respectivamente una única célula de conmutación 137, 138, 140, 142 a dos niveles de tensión de estructura idéntica.
- 20 **[0095]** Cada célula de conmutación 137, 138, 140, 142 comprende una asociación en serie de un primer interruptor 144, 146, 148, 150 y de un segundo interruptor 152, 154, 156, 158.
- [0096]** Los interruptores 144, 146, 148, 150, 152, 154, 156, 158 están formados cada uno por una asociación  
25 de un transistor y de un diodo de redundancia montado en antiparalelo.
- [0097]** Los medios de control de transistores no están representados en la figura 2.
- [0098]** Cada circuito de conmutación 130, 132, 133 está asociado respectivamente a un único brazo principal  
30 diferente 106, 108, 110 y comprende un primer diodo 160, 162, 164 conectado en modo directo desde el terminal de salida 136 de la célula de conmutación 142 del brazo de emergencia 112 hasta un punto de conexión 170, 172, 174 respectivo. Cada punto de conexión 170, 172, 174 conecta respectivamente la célula de conmutación asociada 137, 138, 140 al fusible asociado respectivo 114, 118, 122, conectado al terminal de polaridad positiva 134.
- [0099]** Cada circuito de conmutación 130, 132, 133 comprende un segundo diodo 176, 178, 180 conectado  
35 en modo directo desde un punto de conexión 182, 184, 186 asociado hasta el terminal de salida 136 de la célula de conmutación 142 del brazo de emergencia 112. Cada punto de conexión 182, 184, 186 conecta respectivamente la célula de conmutación asociada 137, 138, 140 al fusible asociado 116, 120, 124, conectado al terminal de polaridad negativa 135.
- 40 **[0100]** Esta configuración se adapta perfectamente cuando los modos de fallos de los interruptores y sus respuestas eléctricas asociadas combinadas con los rendimientos de los fusibles permiten un aislamiento simétrico de un brazo principal cualquiera.
- [0101]** Según la figura 3, una variante del inversor 102 es un inversor 202 que comprende los mismos  
45 componentes, designados por referencias idénticas, y la misma ordenación de estos componentes.
- [0102]** El inversor comprende además tres tiristores auxiliares 204, 206, 208 de ayuda al aislamiento de un  
50 brazo principal con medios de control asociados no representados, estando cada tiristor auxiliar 204, 206, 208 asociado a un único brazo principal de conversión diferente 106, 108, 110.
- [0103]** Cada tiristor auxiliar 204, 206, 208 está conectado respectivamente entre los puntos de conexión 170  
y 182, 172 y 184, 174 y 186.
- [0104]** A modo de ejemplo, tiene lugar un aislamiento no simétrico del brazo de conversión principal 133 en el  
55 que el fusible 122 por fusión ha abierto el circuito del brazo principal en el lado del terminal de polaridad positiva 134 y en el que el brazo principal permanece conectado al terminal de polaridad negativa 135 a través del fusible 124 no fundido. Habiendo sido el fallo detectado y localizado previamente en el brazo 133, el tiristor 208 es controlado en el estado conductor de manera que el fusible 124 se cortocircuita permanentemente a través del diodo 180 o a través del diodo 164, del tiristor auxiliar 208, montados en serie, para fundir y obtener finalmente el aislamiento simétrico  
60 del brazo principal 133.
- [0105]** Además, estando el brazo 133 completamente aislado, los dos diodos montados cada uno en un  
transistor asociado 148, 156 y el tiristor asegura un camino de conducción entre la salida designada por S de la célula de conmutación 142 de emergencia y el terminal de fase designado por A de la carga.
- 65 **[0106]** Según la figura 4, una variante del inversor 202 es un inversor 302 en el que cada brazo principal

comprende un dispositivo de protección de disyunción rápida 304 integrado en dos unidades de pilotaje 306, 308, denominadas en inglés «drivers», chips de transistores controlados de la célula de conmutación asociada al brazo principal.

- 5 **[0107]** Así, si aparece una dificultad o un riesgo de protección no selectiva entre los fusibles y los haces de enlaces de los chips en el modo palanca (en inglés «crowbar»), debido a un I<sub>2t</sub> demasiado bajo o una resistencia de fallo de un transistor defectuoso insuficientemente controlada, puede ser aconsejable accionar un aislamiento en dos fases.
- 10 **[0108]** En una primera fase de aislamiento asimétrica de la célula de conmutación, por ejemplo la célula designada por 140, la célula de conmutación defectuosa 140 es aislada con ayuda de la protección del disyuntor rápido 304 integrado en las dos unidades de pilotaje 306, 308 de los chips de transistor.
- [0109]** En una segunda fase de aislamiento posterior a la primera fase, simétrica esta vez y a través de una  
15 malla diferente, la célula de conmutación es aislada con ayuda del tiristor auxiliar.
- [0110]** La conexión de emergencia se realiza preferentemente por los diodos de redundancia con el fin de mantener los transistores en un estado bloqueado compatible con el modo disyuntor.
- 20 **[0111]** Según la figura 5, se describe una variante 332 del inversor 302 descrito en la figura 4 en la que, para cada brazo principal, los dos diodos de conexión son sustituidos cada uno por un tiristor y se suprime el tiristor de ayuda al aislamiento del brazo.
- [0112]** Por ejemplo, en el nuevo brazo principal 323, el único brazo principal representado en la figura 5 y que  
25 sustituye al brazo principal 133 de la figura 4, los diodos 164, 180 son sustituidos por dos tiristores 330, 333 conectados en serie en el mismo sentido de montaje que el tiristor de 208 de la figura 4, estando el conjunto en serie así formado conectado en paralelo entre los dos fusibles 122 y 124.
- [0113]** El tiristor de ayuda al aislamiento 208 se suprime.  
30
- [0114]** Con esta organización, los dos tiristores 330 y 332 aseguran las funciones de conexión de conmutación y de ayuda al aislamiento del brazo principal 323, que permiten ahorrar un componente electrónica de potencia.
- 35 **[0115]** Según la figura 6, como variante a los inversores de las figuras 2, 3, 4 y 5, un inversor 402 es un inversor multiniveles de células de conmutación imbricadas, y comprende al menos un brazo principal 404 y un brazo de emergencia 406 de estructuras idénticas.
- [0116]** Cada brazo principal de conversión estático es una macrocélula, con dos niveles de tensión o más,  
40 con independencia de cuál sea su estructura interna, siempre que sólo posea dos polos de conexión en el lado continuo.
- [0117]** En este caso en la figura 5, el brazo principal 404 comprende dos células de conmutación imbricadas, una primera célula interna 408 de estructura idéntica a una célula de conmutación del inversor 202 descrito en la  
45 figura 3, y una segunda célula externa 410 compuesta por dos interruptores 412, 414 conectados a la célula interna 408 que los encuadra.
- [0118]** Los interruptores de las dos células de conmutación 412, 414 están conectados en serie, y se conecta en paralelo una capacidad 416 que forma parte del brazo principal 404 con la célula de conmutación interna 408,  
50 formando asimismo la célula de conmutación de salida del brazo principal 404.
- [0119]** En este caso, el brazo de emergencia 406 comprende a semejanza del brazo principal dos células de conmutación imbricadas, una célula interna 420 y una célula externa 422 y una capacidad 424 conectada a los  
55 terminales de la célula de conmutación interna 420.
- [0120]** Como variante, el brazo de emergencia 406 incluye una única célula de conmutación.
- [0121]** Según la figura 7, el convertidor estático es un troceador 502 transformador conectado entre una  
60 fuente de tensión continua 504 y una carga a entrada 506 de tipo bobinado de un motor por ejemplo, modelizada por una inductancia 508 y una resistencia 510 montadas en serie.
- [0122]** El troceador 502 comprende al menos un brazo principal 512 de conversión estático y un brazo de emergencia 514 de estructura idéntica a la del brazo principal 512, de manera que en la figura 6 se representa un  
65 único brazo principal.
- [0123]** El inversor comprende igualmente los fusibles 515, 516, 518, 520 asociados dos a dos en dos pares

distintos y un circuito de conmutación 522.

**[0124]** El brazo principal 512 está conectado entre un único terminal de polaridad positiva 524 y un único terminal de polaridad negativa 526 de la fuente 504 a través del par de fusibles 515 y 516.

**[0125]** El brazo de emergencia 514 está conectado entre el terminal de polaridad positiva 524 y el terminal de polaridad negativa 526 de la fuente 504 a través del par de fusibles 518, 520 y comprende un terminal de salida 530.

**[0126]** El brazo principal 512 y el brazo de emergencia 514 comprenden respectivamente una única célula de conmutación 536, 538 unidireccional de corriente de estructura idéntica.

**[0127]** Cada célula de conmutación 536, 538 comprende una asociación en serie de un primer interruptor 544, 546 y un segundo interruptor 552, 554, estando cada primer interruptor 544, 546 formado por un único transistor diferente y estando cada segundo interruptor 552, 554 formado por un único diodo.

**[0128]** Los medios de control de dos transistores 544, 546 no se han representado en la figura 6.

**[0129]** El circuito de conmutación 522, asociado al brazo principal 512, comprende un diodo 560 conectado en modo directo desde el terminal de salida 530 de la célula de conmutación 538 del brazo de emergencia 514 hasta el punto de conexión 562 de la célula de conmutación al fusible 515 conectado al terminal de polaridad positiva.

**[0130]** Así, a diferencia del caso del inversor descrito en las figuras 2 a 5, la célula de conmutación 536 es unidireccional de corriente constituida por un único transistor 544 y un único diodo 552 que tienen esta vez, un funcionamiento asimétrico en régimen de fallo.

**[0131]** En efecto, si el fallo inicial del diodo provoca el efecto palanca («crow-bar» en inglés) pretendido para activar los dos fusibles 515, 516 en los dos polos a semejanza del inversor, no sucede lo mismo si el que está inicialmente en fallo es el transistor 544. El diodo opuesto 552 se bloquea, aislando el fallo dentro de la célula pero dejando la carga 506 conectada permanentemente a la fuente de tensión 504 de corriente continua. En el caso de un fallo inicial de carga en cortocircuito, el fusible 515 aislará el brazo principal 512 sin problema, pero en el caso de un fallo inicial en el mismo transistor 544, se necesitará un dimensionamiento adaptado del fusible para asegurar una protección frente a la sobrecarga de corriente en la carga (como existe además en determinado tipo de fusible de la marca Protistor™).

**[0132]** Si se cumple esta condición, el principio de redundancia presentado para el inversor puede adaptarse directamente al caso del troceador.

**[0133]** En el caso contrario, es necesario un tiristor de ayuda al aislamiento 564 para provocar el aislamiento simétrico mediante los dos fusibles 515, 516.

**[0134]** A semejanza del inversor descrito en la figura 3, el tiristor auxiliar 564 ofrece también la ventaja de un segundo camino de conducción en el que sólo interviene la conducción del diodo 552 de la célula de conmutación 536, lo que es útil si el modo de fallo del transistor es demasiado resistivo o si el fallo se traduce en una ausencia de control en el transistor 544.

**[0135]** Según la figura 8, un convertidor estático 602 de troceadores en paralelo comprende al menos dos brazos principales de conversión conectados en paralelo en una fuente de tensión 604 de corriente continua, en este caso tres brazos principales troceadores 606, 608, 610 idénticos cada uno al brazo principal del troceador descrito en la figura 6.

**[0136]** El convertidor 602 comprende un brazo de emergencia 612 idéntico al de la figura 6 y cuatro pares de fusibles 612, 614, 616, 618, estando cada brazo principal 606, 608, 610 y el brazo de emergencia 612 imbricados en un único par de fusibles diferente.

**[0137]** Asimismo, el convertidor 602 comprende tres tiristores auxiliares 622, 624, 626 de ayuda al aislamiento, conectados cada uno en un único brazo diferente, y tres circuitos de conmutación 628, 630, 632 asociados uno a uno a un brazo principal diferente.

**[0138]** A semejanza del inversor polifásico descrito en la figura 3, el brazo de emergencia 612 es compartido en el conjunto de las células de conmutación activas que forman los brazos principales 606, 608, 610 y se conecta espontáneamente en serie con una célula de conmutación que ha fallado como apoyo para la fase en cuestión a través del diodo del circuito de conmutación y en su caso con el tiristor auxiliar como elemento de conmutación, según el componente convertido en defectuoso en la célula de conmutación que ha fallado. Por ejemplo, si la que ha fallado es la célula de conmutación del brazo principal 606, el circuito de conmutación 628 y en su caso el tiristor auxiliar 622 permitirán que el brazo de emergencia se conecte espontáneamente en serie con la célula en fallo del brazo principal 606.

**[0139]** Esta arquitectura de redundancia asegura una continuidad de servicio sin degradación de los rendimientos eléctricos en el caso de fallo de un único brazo principal.

5 **[0140]** Debe resaltarse que en el caso de una conexión por inductancias no acopladas, la emergencia se mantenga operativa si aparece un segundo fallo en una célula cualquiera. Las dos células en fallo se conectan entonces en paralelo mediante su diodo auxiliar y en su caso su tiristor auxiliar; sucede lo mismo para las inductancias de unión. Debe aplicarse entonces una reducción de esfuerzo («derating» en inglés) en la potencia para no sobrecargar la célula de emergencia y no poner en peligro el conjunto del convertidor.

10

**[0141]** En el caso de inductancias acopladas, la célula de emergencia podrá asegurar el mantenimiento de la misión al primer fallo, a priori sin precaución suplementaria. Al segundo fallo, el mantenimiento de una componente continua equilibrada del flujo propio en las dos inductancias necesitaría mantener los amperios-vuelta continuos equilibrados y así duplicar la corriente en la célula de emergencia con una sobrecarga del 100% en esta célula.

15 Parece más prudente reducir a la mitad la componente continua de la corriente en las otras fases activas, es decir, un reducción de esfuerzo en potencia, con el fin de mantener un estado magnético continuo equilibrado en el conjunto de las inductancias acopladas, usándose en este caso la célula de emergencia a su corriente nominal.

**[0142]** Según la figura 9, se propone un convertidor estático 702 de arquitectura similar a la del convertidor estático de la figura 7 en el caso particular de una aplicación de baja tensión.

20

**[0143]** El convertidor comprende tres brazos principales de conversión 706, 708, 710 y un brazo de conversión de emergencia 712.

25 **[0144]** Los interruptores de las células de conmutación de todos los brazos 606, 608, 610, 612 de la figura 8 han sido sustituidos por interruptores de tipo MOS formados cada uno por una asociación de un transistor de tipo MOS con un diodo montado en antiparalelo. Los tiristores auxiliares se han suprimido.

**[0145]** Estos interruptores pueden usarse favorablemente en conducción inversa en la secuencia de rueda libre (combinación del diodo principal y de la conducción inversa del canal). Las células de conmutación disponen así de dos transistores en serie capaces de activar los dos fusibles asociados por efecto crow-bar como en el caso de un inversor descrito en la figura 2. En este caso particular los tiristores auxiliares dejan de ser indispensables.

30

**[0146]** Según la figura 10, se propone una arquitectura de un inversor trifásico 802 en la que es posible asegurar una continuidad de servicio en el caso de una avería doble, es decir, dos averías distribuidas en dos brazos principales diferentes.

35

**[0147]** En efecto, en los esquemas precedentes relativos a convertidores de tipo inversor o troceador, cada célula de salida activa de un brazo principal de conversión activo posee su conmutador de diodos en el que se conecta un punto común en la única célula de salida del brazo de emergencia compartida. Este enfoque puede considerarse «minimalista» en la medida en que el número de componentes adicionales se reduce efectivamente al mínimo y se prima la ausencia de electrodo de control en estos componentes por motivos de fiabilidad y de sobrecoste incluso si los componentes añadidos están latentes en redundancia pasiva.

40

45 **[0148]** No obstante, esta relativa sencillez se paga con la ausencia de una segunda tolerancia de avería. En efecto, al primer fallo, el terminal de salida del brazo principal en fallo correspondiente a una fase se ve alimentada por la célula de salida de emergencia a través de su conmutador, estando los otros conmutadores en paralelo siempre bloqueados y aislando correctamente las otras células en paralelo del primer fallo mismo si los diodos experimentan variaciones temporales de la tensión o  $dv/dt$  de la célula de salida de emergencia. Al segundo fallo, en otra salida de otro brazo principal correspondiente a otra fase cualquiera, el circuito de conmutación en cuestión se conecta espontáneamente a la otra salida en la misma célula de salida de emergencia ya que es común al conjunto de salidas correspondiente a fases diferentes realizando así la puesta en paralelo de las dos fases en fallo a través de sus conmutadores y componentes en fallo respectivos. Es difícil imaginar un funcionamiento trifásico viable en estas condiciones.

55

**[0149]** Sin embargo, se ha visto que puede plantearse un funcionamiento con carga paralelo con una arquitectura propuesta en la figura 7, incluso si el equilibrado de las corrientes debe estudiarse caso por caso y sobre todo de forma experimental. Dicho esto, en la medida en que las resistencias de fallo medidas en chips en fallo del tipo IGBT (Inverse Gate Bipolar Transistor) son bajas con respecto a la resistencia de los diodos de conmutación en serie, se puede conseguir que el equilibrado de las corrientes esté bastante bien realizado.

60

**[0150]** La arquitectura propuesta según la figura 10 es una variante de la de la figura 2 y permite una tolerancia de segunda avería en todos los casos de aplicación.

65 **[0151]** La solución propuesta consiste en introducir un segundo brazo de emergencia 814, en este caso formado por una célula de emergencia único. Para poder dirigir un brazo de emergencia cualquiera entre los dos



brazos 112, 814 hacia cualquier célula activa 137, 138, 140 que forma un brazo principal 106, 108, 110 de manera totalmente independiente, cada célula activa principal 137, 138, 140, se dotará de dos circuitos de conmutación respectivos 820, 822; 824, 826; 828, 830 controlados en paralelo que permiten la conmutación de la fase en fallo hacia una u otra de las células de emergencia 142, 816.

5

**[0152]** Este principio puede generalizarse a un convertidor estático cualquiera de N células de conmutación activas equipadas de K conmutadores conectados a K células en emergencia, siendo N y K dos números enteros superiores o iguales a 2 y siendo K inferior o igual a N.

10 **[0153]** Este principio puede generalizarse igualmente a un convertidor cualquiera como el descrito en la figura 1 que comprende un primer número N superior o igual a dos de los brazos de conmutación principales, un segundo número K de brazos de conmutación de emergencia superior o igual a dos, un mismo segundo número K de conmutadores, estando cada conmutador asociado a un brazo de conmutación principal distinto, siendo el primer número N superior o igual al primer número K.

15

**[0154]** Cada conmutador es un multipolo eléctrico que comprende el segundo número K de elementos de conexión y medios de control de tiristores asociados, siendo cada elemento de conexión de un mismo conmutador un tiristor, teniendo cada tiristor una entrada conectada a la salida de un brazo de emergencia único y distinto y una salida conectada a la primera entrada del brazo de conmutación principal al que se asocia el conmutador.

20

**[0155]** Los medios de control de tiristores de los conmutadores están configurados de manera que cuando un brazo de conmutación principal cualquiera conectado a un conmutador tiene un fallo puede ser asistido por uno cualquiera de los brazos de emergencia todavía no convertido en activo.

25 **[0156]** Según la figura 11, se propone una variante del convertidor de la figura 10 en la que el sentido de montaje está invertido en todos los tiristores que constituyen los elementos de conexión de los circuitos de conmutación.

**[0157]** Se retiran los tiristores de ayuda al aislamiento de los brazos principales.

30

**[0158]** Así, los elementos de conexión aseguran la misma función de conmutación que la descrita para la figura 10 pero también la función de aislamiento de los brazos principales. Así, el ahorro se realiza en los tiristores de ayuda al aislamiento en este caso en el número de tres.

35 **[0159]** Según la figura 12, un convertidor estático 902 de tipo c.a./c.a. está conectado entre una fuente 904 de tensión alterna y una carga no representada de entradas trifásicas designadas por las letras A, B, C.

**[0160]** El convertidor 902 comprende tres brazos principales 906, 908, 910 de conversión estática y un brazo de emergencia 912 de estructura idéntica.

40

**[0161]** El convertidor 902 comprende igualmente componentes de aislamiento 914, 916, 918, 920, 922, 924, 926, 928 que son en este caso fusibles y que están asociados dos a dos en cuatro pares distintos, y tres circuitos de conmutación 930, 932, 934.

45 **[0162]** Cada brazo principal 906, 908, 910 está conectado entre un primer terminal de polaridad 936 y un segundo terminal de polaridad 938 de la fuente 904 de tensión alterna a través de un par respectivo diferente de fusibles, los fusibles 914, 916 para el brazo 906, los fusibles 918, 920 para el brazo 908 y los fusibles 922, 924 para el brazo principal 910.

50 **[0163]** El brazo de emergencia 912 está conectado entre el primer terminal de polaridad 936 y el segundo terminal de polaridad 938 de la fuente 904 a través del par de fusibles 926, 928 y comprende un terminal de salida 940.

**[0164]** Cada brazo principal 906, 908, 910 y el brazo de emergencia 912 comprenden respectivamente cada uno un par 942, 944, 946 de células de conmutación imbricadas polarizadas en modo inverso.

55

**[0165]** Cada par 942, 944, 946 de células de conmutación comprende una asociación en serie de cuatro interruptores 950, 952, 954, 956 montados según una polarización alterna.

60 **[0166]** Los interruptores 950, 952, 954, 956 están formados cada uno por la asociación de un transistor y de un diodo de redundancia montado en antiparalelo con respecto al sentido de polarización del transistor.

**[0167]** Los medios de control de transistores no se han representado en la figura 12.

65 **[0168]** Cada circuito de conmutación 930, 932, 934 está asociado respectivamente a un único brazo principal diferente 106, 108, 110 y comprende un primer par 960, 962, 964 de tiristores montados en modo paralelo inverso

conectado desde el terminal de salida 940 que forma el punto central del brazo de emergencia 912 hasta un punto de conexión 966, 968, 970 respectivo. Cada punto de conexión 966, 968, 970 conecta respectivamente el brazo principal asociado 906, 908, 910 al fusible asociado respectivo 914, 918, 922 conectado al primer terminal de polaridad 936.

5

**[0169]** Cada circuito de conmutación 930, 932, 934 comprende un segundo par 974, 976, 978 de tiristores montados en modo paralelo inverso conectado desde el terminal de salida 940 que forma el punto central del brazo de emergencia 912 hasta un punto de conexión 980, 982, 984 respectivo. Cada punto de conexión 980, 982, 984 conecta respectivamente el brazo principal asociado 906, 908, 910 al fusible asociado respectivo 916, 920, 924 conectado al segundo terminal de polaridad 938.

10

**[0170]** Cada circuito de conmutación asegura además de su función de conmutación propia de un convertidor de tipo c.a./c.a. una función de ayuda al aislamiento del brazo principal al que se asocia si fuera necesario.

15 **[0171]**

Según la figura 13, un puente rectificador 1002 trifásico en el caso general comprende dos células de conmutación 1004, 1006 principales conectadas a las tres fases de salida A, B, C de la fuente 1008 de corriente alterna, y a uno de los dos polos 1010, 1012 de la carga eléctrica 1013 destinada a recibir una corriente continua, y tres interruptores de emergencia 1014, 1015, 1016 designados respectivamente por TSA, TSB, TSC.

20 **[0172]**

Cada célula de conmutación 1004, 1006 principal comprende en este caso un primer triplete 1018 y un segundo triplete 1020 de interruptores principales 1022, 1024, 1026, 1028, 1030, 1032.

**[0173]**

Los interruptores principales 1022, 1024, 1026 del primer triplete 1018 designados asimismo por TA+, TB+, TC+ están conectados cada uno a una fase respectiva que está asociada a él, A, B, C, a través de fusibles asociados diferentes 1034, 1036, 1038 designados por FA+, FB+, FC+.

25

**[0174]** Los interruptores principales 1028, 1030, 1032 del segundo triplete 1020 designados igualmente por TA-, TB-, TC- están conectados cada uno a una fase respectiva que está asociada a él, A, B, C a través de fusibles asociados diferentes 1040, 1042, 1044 designados por FA-, FB-, FC-.

30

**[0175]** Cada tiristor de emergencia 1014, 1016, 1018 está conectado en paralelo en un circuito serie diferente de dos fusibles, los fusibles 1034, 1040 para el tiristor de emergencia 1014, los fusibles 1036, 1042 para el tiristor de emergencia 1016, los fusibles 1038, 1044 para el tiristor de emergencia 1018.

35 **[0176]**

En presencia de un fallo de un interruptor principal cualquiera, es decir, de la pérdida del mantenimiento en tensión inversa, la fuente de tensión 1008 a corriente alterna se pone en cortocircuito entre dos de las tres fases. El aislamiento completo de la malla de conmutación en fallo se obtiene gracias al fusible introducido en serie con cada interruptor. Debido a la disposición de los fusibles del lado de la fuente eléctrica los interruptores de emergencia se reparten entre las dos células de conmutación principales.

40

**[0177]** Al primer fallo, por ejemplo en uno de los interruptores TA+ o TB+, los interruptores TSA y TSB sustituirán espontáneamente a los interruptores TA+ y TB+ por el aislamiento de los fusibles FA+ y FB+, con los fusibles FA- y FB- asegurando la protección última de emergencia en el caso de un segundo fallo en los interruptores TSA, TSB, TA- o TB-. Si se produce el segundo fallo en una fase diferente, en este caso la fase C, la continuidad de la misión es posible y se obtiene mediante la conexión de TSC.

45

**[0178]** Como para los casos del inversor y el troceador, los interruptores de emergencia no se someten a ninguna restricción de  $dv/dt$  en funcionamiento normal; además, en este modo de conversión, la tensión aplicada a los terminales de los tres interruptores de emergencia es nula; se trata así de una redundancia pasiva fría muy interesante. En funcionamiento normal, no hay corriente de fuga ni pérdidas.

50

**[0179]** De manera general, un convertidor estático, destinado a la conversión de energía eléctrica entre una fuente eléctrica de corriente alterna multifásica que tiene un número  $n$  de fases superior o igual a dos y una carga eléctrica de corriente continua con un nivel de corriente de salida regulable comprende:

55

un par de células de conmutación formado por una primera célula principal de conmutación y una segunda célula principal de conmutación, y fusibles,

60

comprendiendo la primera célula de conmutación un número  $n$  de primeros interruptores unidireccionales conectados según un mismo sentido de recorrido de corriente a un mismo primer terminal de salida y primeros medios de control asociados, siendo el primer terminal de salida susceptible de conectarse a un primer terminal de entrada de la carga,

65

comprendiendo la segunda célula de conmutación un número  $n$  de segundos interruptores unidireccionales conectados según un mismo sentido de recorrido de corriente a un segundo terminal salida y segundos medios de control asociados, siendo el segundo terminal de salida susceptible de conectarse a un segundo terminal de entrada

de la carga,

estando los primeros interruptores unidireccionales emparejados con los segundos interruptores unidireccionales según pares distintos,

5

estando las células de conmutación configuradas a través de sus medios de control asociados para estar activas en un modo nominal predeterminado del convertidor.

**[0180]** El convertidor se caracteriza porque los fusibles se distribuyen en pares de fusibles,

10

cada par de fusibles está asociado respectivamente a un par de interruptores diferente, comprende, montados en serie, un primer fusible y un segundo fusible que forman cada uno un dipolo eléctrico y posee un punto central de conexión de los dos fusibles entre sí, que puede conectarse con un terminal de fase de salida diferente de la fuente eléctrica, y

15

cada par de fusibles está conectado en serie entre el primer y el segundo interruptores unidireccionales de corriente del par de interruptores al que está asociado, estando los dos interruptores unidireccionales de corriente conectados en serie a través del par de fusibles en un mismo sentido,

20 el convertidor comprende interruptores unidireccionales de emergencia,

estando cada interruptor de emergencia conectado en paralelo con los terminales de un par de fusibles diferente, cada interruptor de una célula de conmutación puede presentar una impedancia permanente estable inferior a una decena de miliohmios después de haber experimentado un fallo resultante de una fuga térmica o un cortocircuito,

25

cada elemento fusible conectado con un interruptor principal está dimensionado de manera que aíslan el interruptor principal al que está asociado después del transcurso de un primer periodo de tiempo para el establecimiento de un modo de fallo de baja impedancia estable en el interruptor unidireccional en fallo y antes del transcurso de un segundo periodo de tiempo para evitar la creación de una apertura de circuito por el interruptor en fallo,

30

los medios de control del interruptor de emergencia asociado al par al que pertenece el interruptor que ha sufrido un fallo y los medios de control del interruptor de emergencia asociado al par de interruptores correspondiente a la fase inmediatamente posterior están configurados de manera que se asegure una recuperación de emergencia inmediata sin degradar el rendimiento de la rectificación.

35

**[0181]** Según la figura 14, un rectificador unicelular 1052 se basa en el mismo principio de conexión y las mismas propiedades en los interruptores de emergencia que el rectificador de dos células descrito en la figura 13. En este caso, en principio, los fusibles pueden introducirse indiferentemente en el lado del ánodo y en el lado del cátodo de los interruptores principales.

40

**[0182]** Según la figura 15, un procedimiento de mantenimiento de la continuidad de servicio 1100 de un convertidor descrito en las figuras 1 a 12 comprende las etapas siguientes.

**[0183]** En una primera etapa 1110, los medios de control de los interruptores controlados de las células de conmutación de los brazos principales están configurados de manera que el convertidor estático funciona de forma nominal en los brazos principales cuando ninguno de los componentes de potencia que forman los brazos principales tiene un fallo.

45

**[0184]** En una etapa siguiente 1120, cuando se produce un fallo en un interruptor de una célula principal, todos los interruptores del brazo principal al que pertenece el interruptor defectuoso y conectados en serie se ponen en cortocircuito durante un tiempo  $t$  de obtención del aislamiento del brazo principal que ha sufrido un fallo, superior a un primer tiempo  $t_1$  para que el brazo principal alcance un estado estable y permanente de conductor de muy baja impedancia, inferior a varias decenas de miliohmios, e inferior a un segundo periodo  $t_2$  por debajo del cual se conserva la integridad de los componentes del brazo principal defectuoso así como el estado conductor alcanzado por el brazo principal defectuoso,

55

**[0185]** En una etapa siguiente 1130, los interruptores de emergencia configurados en la misma configuración que la de los interruptores del brazo principal en fallo están conectados automáticamente por el circuito de conmutación del brazo principal defectuoso convertido en un conductor estable.

60

**[0186]** Como variante, la etapa 1110 está precedida por una etapa previa en la que, cuando el convertidor funciona normalmente, es decir, cuando no hay avería, los medios de control 58 de los interruptores del brazo de emergencia 18 están configurados de manera que el brazo de emergencia se sitúa en un estado de espera con el mínimo de restricción en los componentes de potencia.

65

**[0187]** Por ejemplo, en esta etapa previa los medios de control 58 de los interruptores del brazo de

emergencia 18 están configurados de manera que sus transistores y sus diodos se mantienen en un estado estático bloqueado.

**[0188]** En esta misma variante, las etapas siguientes se implementan al mismo tiempo que la etapa 1120.

5 Los medios de detección y de localización 24 detectan y localizan el brazo de conversión principal que ha sufrido un fallo y controlan los medios de control de los interruptores de emergencia del brazo de emergencia para adoptar la misma configuración de control que la de los interruptores del brazo principal que ha sufrido un fallo en funcionamiento normal.

10 **[0189]** Según la figura 16, el convertidor estático de la figura 1 es un inversor trifásico 2102 ANPC de tres niveles impuestos por regulación del punto neutro de entrada, de manera que el acrónimo inglés ANPC significa Active Neutral Point Clamped.

**[0190]** El artículo de T. Brückner y S. Bernet titulado «Loss balancing in three-level voltage source inverters applying Active NPC switches» páginas 1135-1140, IEEE 2001 describe un inversor trifásico ANPC de tres niveles impuestos por regulación del punto neutro de entrada sin brazo de emergencia.

**[0191]** El inversor 2102 cuyas tres fases de salida se designan respectivamente por las letras A, B, C está conectado entre una fuente 2104 de tensión continua y una carga de entradas trifásicas no representada.

20 **[0192]** El inversor 2102 comprende tres brazos principales 2106, 2108, 2110 de conversión estática y un brazo de emergencia 2112 de estructura idéntica.

**[0193]** El inversor 2102 comprende igualmente un puente divisor capacitivo 2113 de punto central de  
25 creación de un punto neutro, y componentes de aislamiento 2114, 2115, 2116, 2118, 2119, 2120, 2122, 2123, 2124 que en este caso son fusibles y que están asociados tres a tres en tres tripletes distintos (2214, 2115, 2116), (2118, 2119, 2120), (2122, 2123, 2124), tres circuitos de conmutación 2125, 2126, 2127, tres circuitos 2128, 2129, 2130 de ayuda al aislamiento de un brazo principal de la fuente y tres circuitos 2131, 2132, 2133 de ayuda al aislamiento de un brazo principal del punto neutro.

30 **[0194]** El inversor 2102 comprende igualmente medios de detección y de localización de un brazo principal en fallo no representados en la figura 16.

**[0195]** El puente divisor capacitivo 2113 comprende dos capacitancias 2134, 2135 de igual valor, conectadas  
35 entre sí en serie por uno de sus extremos respectivos en un punto central 2137 que forman un punto de puesta en neutro del inversor.

**[0196]** El circuito en serie, formado por las dos capacitancias 2134, 2135, está conectado a través de los  
40 extremos restantes de las dos capacitancias entre un único terminal de polaridad positiva 2139 y un único terminal de polaridad negativa 2140 de la fuente 2104.

**[0197]** Cada brazo principal 2106, 2108, 2110 está conectado entre el único terminal de polaridad positiva  
45 2139 y el único terminal de polaridad negativa 2140 de la fuente 2104 a través de un par respectivo diferente de fusibles, perteneciendo cada par a un triplete distinto, los fusibles 2114, 2116 para el brazo 2106, los fusibles 2118, 2120 para el brazo 2108 y los fusibles 2122, 2124 para el brazo principal 2110.

**[0198]** Cada brazo principal 2106, 2108, 2110 está conectado al punto central del puente divisor capacitivo en  
50 un punto de entrada respectivo 2142, 2144, 2146 de puesta en neutro del brazo principal a través del fusible restante respectivo 2115, 2219, 2123 del triplete asociado (2214, 2115, 2116), (2118, 2119, 2120), (2122, 2123, 2124).

**[0199]** El brazo de emergencia 2112 está conectado entre el terminal de polaridad positiva 2139 y el terminal  
de polaridad negativa 2140 de la fuente 2104. Comprende un terminal de salida 2148 y un punto de entrada 2150 de puesta en neutro del brazo de emergencia.

55 **[0200]** Cada brazo principal 2106, 2108, 2110 y el brazo de emergencia 2112 comprenden tres células de conmutación diferentes cuyas dos células internas de conmutación están conectadas en paralelo entre sí e imbricadas en la célula de conmutación restante.

**[0201]** En este caso en la figura 16, sólo se representan las células de conmutación del brazo de emergencia  
60 2112 y del brazo principal 2106, siendo idéntica la arquitectura de los otros dos brazos principales 2108, 2110 en términos de célula de conmutación.

**[0202]** Cada célula de conmutación comprende una asociación en serie de un primer interruptor y de un  
segundo interruptor con un punto central correspondiente.

65 **[0203]** El brazo de emergencia 2112 comprende una primera célula interna 2152 de conmutación en la que

un punto central asociado es el punto de entrada 2150 de puesta en neutro, una segunda célula interna 2154 de conmutación en la que un punto central es el punto de salida 2148 del brazo de emergencia 2112. Las células internas primera y segunda 2152, 2154, conectadas en paralelo, están imbricadas en una tercera célula de conmutación 2156 en la que un interruptor diferente está conectado a las polaridades primera y segunda 2139, 5 2140.

**[0204]** El brazo principal 2106 comprende una primera célula interna 2162 de conmutación en la que un punto central asociado es el punto de entrada 2142 de puesta en neutro, una segunda célula interna 2164 de conmutación en la que un punto central es el punto de fase de salida A del brazo principal 2106. Las células internas 10 primera y segunda 2162, 2164, conectadas en paralelo, están imbricadas en una tercera célula de conmutación 2166 en la que un interruptor diferente está conectado a las polaridades primera y segunda 2139, 2140 a través de los fusibles 2114, 2116 respectivos.

**[0205]** Los interruptores de las células de conmutación están formados cada uno por una asociación de un 15 transistor y un diodo de redundancia montado en antiparalelo.

**[0206]** En la figura 16 se representan sólo los medios de control de transistores del brazo de emergencia 2112 y del brazo principal 2106 para mejorar la legibilidad y se designan respectivamente por las referencias 2170 y 20 2172.

**[0207]** Cada circuito de conmutación 2125, 2126, 2127 está asociado respectivamente con un único brazo principal diferente 2106, 2108, 2110 y comprende un primer diodo 2180, 2182, 2184 conectado en modo directo desde el terminal de salida 2148 de la segunda célula de conmutación interna 2154 del brazo de emergencia 2112 hasta un punto de conexión 2190, 2192, 2194 respectivo. Cada punto de conexión 2190, 2192, 2194 conecta 25 respectivamente la tercera célula de conmutación externa asociada a un brazo principal 2106, 2108, 2110 con el fusible asociado respectivo 2114, 2118, 2122 conectado al terminal de polaridad positiva 2139.

**[0208]** Cada circuito de conmutación 2125, 2126, 2127 comprende un segundo diodo 2196, 2198, 2200 conectado en modo directo desde un punto de conexión 2202, 2204, 2206 asociado hasta el terminal de salida 2148 30 de la célula de conmutación interna 2154 del brazo de emergencia 2112. Cada punto de conexión 2202, 2204, 2206 conecta respectivamente la tercera célula de conmutación externa asociada a un brazo principal 2106, 2108, 2110 con el fusible asociado respectivo 2116, 2120, 2124, conectado al terminal de polaridad negativa 2140.

**[0209]** Cada circuito 2128, 2129, 2130 de ayuda al aislamiento de un brazo principal de la fuente 2104 35 auxiliar está conectado respectivamente entre los puntos de conexión 2190, 2192, 2194 y 2202, 2204, 2206.

**[0210]** Los tres circuitos 2128, 2129, 2130 de ayuda al aislamiento de un brazo principal de la fuente 2104 se preparan con ayuda de tres tiristores auxiliares entre los que en la figura 16 sólo se representa el del circuito 2128 40 asociado al brazo principal 2106 y designado por la referencia 2210.

**[0211]** Cada tiristor de ayuda al aislamiento de un brazo principal de la fuente 2104, asociado a un único brazo principal de conversión diferente 2106, 2108, 2110, está configurado para aislar el brazo principal asociado en el caso en el que el brazo entra en fallo, con medios de control asociados, representados solamente en la figura 16 45 para el brazo principal 2106 y designados por 2212.

**[0212]** Los tres circuitos 2131, 2132, 2133 de ayuda al aislamiento de un brazo principal del punto neutro están conectados en este caso directa y respectivamente entre el punto de entrada de neutro asociado a un brazo principal y el terminal de polaridad negativa 2140.

50 **[0213]** Como variante, los tres circuitos 2131, 2132, 2133 de ayuda al aislamiento de un brazo principal del punto neutro están conectados directa y respectivamente entre el punto de entrada de neutro asociado a un brazo principal y el terminal de polaridad positiva 2139.

**[0214]** Los tres circuitos 2131, 2132, 2133 de ayuda al aislamiento de un brazo principal del punto neutro se preparan con ayuda de tres tiristores auxiliares en los que en la figura 16 se representa sólo el del circuito 2131 55 asociado al brazo principal 2106 y designado por la referencia 2220.

**[0215]** Cada tiristor de ayuda al aislamiento de un brazo principal del punto neutro, asociado a un único brazo principal de conversión diferente 2106, 2108, 2110, está configurado para aislar el brazo principal asociado en el caso en el que el brazo entra en fallo, con medios de control asociados, no representados en la figura 16. 60

**[0216]** Debe resaltarse que pueden usarse asimismo variantes de realización de componentes de aislamiento, circuitos de conmutación y circuitos de ayuda al aislamiento, descritas para las figuras 3 a 5.

65 **[0217]** En funcionamiento normal, es decir, en ausencia de fallo en cada brazo principal, los medios de control de los interruptores de células de conmutación de los brazos principales están configurados de manera que

el inversor funciona según un modo ANPC clásico.

- [0218]** En caso de una avería en un brazo principal cualquiera, es decir, en una fase cualquiera, el esquema propuesto en este caso de aislamiento completo del brazo principal ANPC en fallo y su conexión con un brazo de emergencia compartido en el que se usa un circuito de conmutación que puede limitarse a dos diodos, permite superar un fallo interno cualquiera en el inversor conservando una marcha de emergencia al 100% de la tensión y de la potencia sin tener que sobredimensionar en tensión los componentes de los brazos principales y del brazo de emergencia.
- 10 **[0219]** Como variante, el convertidor estático de la figura 16 de tipo ANPC es sustituido por un inversor trifásico de tipo NPC, significando el acrónimo inglés NPC Neutral Point Clamped. En el inversor trifásico de tipo NPC, las primeras células internas de conmutación de un brazo cualquiera del inversor trifásico ANPC de la figura 16 son sustituidas cada una por una serie diferente de dos diodos polarizados en el mismo sentido, estando el punto común de la serie de los dos diodos conectado al circuito de aislamiento de punto neutro asociado al brazo principal.
- 15 **[0220]** Como variante, el número de fases del inversor de tipo ANPC o NPC es cualquiera.
- [0221]** Como variante, y como generalización de un inversor de tipo ANPC o NPC, el convertidor estático es un inversor de imposición de un punto central de alimentación, configurado para ser conectado a una fuente de tensión de corriente continua y para suministrar a una carga eléctrica una corriente alterna en al menos una fase.
- 20 **[0222]** El inversor comprende un puente divisor capacitivo, configurado para proporcionar un punto central de tensión de alimentación de entrada.
- 25 **[0223]** Cada brazo principal, asociado a una fase y el brazo de emergencia comprenden un terminal de entrada distinto de imposición del punto central de tensión.
- [0224]** Para cada fase y cada brazo principal asociado, el inversor comprende un componente de aislamiento del brazo principal del punto central del puente divisor capacitivo, conectado al terminal de entrada de imposición del punto central de tensión al brazo principal.
- 30 **[0225]** El primer terminal de entrada y el segundo terminal de entrada de alimentación de un brazo principal cualquiera están conectados respectivamente a la primera polaridad positiva y a la segunda polaridad negativa de la fuente eléctrica a través de un par diferente de componentes de aislamiento de la fuente.
- 35 **[0226]** Cada célula de conmutación de un brazo principal o de un brazo de emergencia comprende un par de interruptores bidireccionales de corriente montados en serie, estando cada interruptor bidireccional de corriente formado por un interruptor controlado y un diodo asociado montado en antiparalelo, estando cada interruptor controlado un elemento comprendido en el conjunto formado por tiristores, transistores de tipo IGBT, transistores de tipo MOS.
- 40 **[0227]** Cada brazo principal y el brazo de emergencia comprenden una célula de conmutación de salida diferente que tiene un terminal de conexión con sus dos interruptores formando un terminal de salida de una fase (A), y comprenden un terminal de entrada diferente de imposición de un punto central.
- 45 **[0228]** El circuito de conmutación incluye un primer elemento de conexión semiconductor unidireccional de corriente no controlado y un segundo elemento de conexión semiconductor unidireccional de corriente no controlado, estando el primer elemento de conexión conectado en modo directo desde la salida del brazo de emergencia al primer terminal de entrada del brazo principal, estando el segundo elemento de conexión conectado en modo inverso desde la salida del brazo de emergencia hacia el segundo terminal de entrada negativo del brazo principal.
- 50 **[0229]** Los medios de control de las células de conmutación del o de los brazos principales están configurados de manera que el convertidor funciona como inversor en una o varias fases cuando todos los brazos principales funcionan sin fallo.
- 55

**REIVINDICACIONES**

1. Convertidor estático, destinado a la conversión de energía eléctrica entre una fuente eléctrica (4; 104; 504; 904; 2104) de tensión y una carga eléctrica (6; 506) que comprende:
- 5 un brazo principal (16; 106; 512; 906; 2106) de conversión estático que incluye al menos una célula de conmutación electrónica de semiconductores provista de medios de control asociados (38; 2172), un primer terminal de entrada (30; 170; 562; 966; 2190) y un segundo terminal de entrada (32; 182) de alimentación capaces de conectarse respectivamente a una primera polaridad (8; 134; 524; 936; 2139) y a una segunda polaridad (10; 135; 526; 938; 10 2140) de la fuente eléctrica, un terminal de salida (34) conectado a una célula de conmutación de salida (36) y capaz de conectarse a la carga eléctrica (6), estando cada célula de conmutación configurada a través de sus medios de control asociados (38) para estar activa en un modo nominal predeterminado del convertidor,
- 15 un par de componentes de aislamiento (70, 72; 114, 116; 515, 516; 914, 916; 2114, 2116), asociado al brazo de conmutación principal (16; 106; 512; 906; 2106), formado por un primer y un segundo componente de aislamiento que forman cada uno un dipolo, estando el primer componente de aislamiento (70; 114; 515; 914; 2114) y el segundo componente de aislamiento (72; 116; 516; 916; 2116) conectados directa y respectivamente con el primer terminal (30; 170; 562; 966; 2190) y el segundo terminal de entrada (32; 182) de alimentación del brazo principal (16; 106; 512; 906),
- 20 **caracterizado porque**
- el convertidor comprende
- 25 un brazo de conversión de emergencia (18; 112; 514; 912; 2112) que incluye al menos una célula de conmutación electrónica de semiconductores provista de medios de control (58) asociados, un primer terminal de entrada (50) y un segundo terminal de entrada (52) de alimentación, capaces de conectarse respectivamente a la primera polaridad (8; 134; 524; 936; 2139) y la segunda polaridad (10; 135; 526; 938; 2140) de la fuente eléctrica (4; 104; 504; 904), un terminal de salida (54; 136; 530; 940; 2104) conectado a una célula de conmutación de salida (56; 142; 538), y
- 30 un circuito de conmutación electrónico (26; 133; 522; 930; 2125) de semiconductores que tiene un elemento de conexión (80; 164; 560; 960; 2180) conectado entre el terminal de salida (54; 136; 530; 940; 2148) del brazo de emergencia (18; 112; 514; 912; 2112) y un terminal de entrada del brazo principal entre el primer terminal de entrada y el segundo terminal de entrada del brazo principal,
- 35 la o las células de conmutación del brazo principal conectadas en serie entre el primer terminal de entrada y el segundo terminal de entrada son capaces cada una de presentar una impedancia permanente estable inferior a varias decenas de miliohmios cuando el brazo principal ha experimentado un fallo resultante de una fuga térmica o un cortocircuito de uno de sus componentes semiconductores,
- 40 los componentes de aislamiento (70, 72; 114, 116; 515, 516; 914, 916; 2114, 2116) del brazo principal están dimensionados de manera que aíslan el brazo principal después del transcurso de un primer periodo de tiempo t1 para el establecimiento de un modo de fallo de baja impedancia estable en la o las células de conmutación del brazo de conversión principal conectadas en serie y antes del transcurso de un segundo periodo de tiempo t2 para evitar la
- 45 creación de una apertura de circuito en el brazo de conversión principal,
- los medios de control de la o las células de emergencia que forman el brazo de emergencia pueden desplegarse después del aislamiento del brazo de conversión principal que ha sufrido un fallo para sustituir parcialmente o en su totalidad el brazo principal,
- 50 el elemento de conexión (80; 164; 560; 960; 2180) está configurado para encontrarse en un estado bloqueado cuando el brazo principal está activo en el modo nominal y para encontrarse en un estado conductor cuando el brazo principal está en fallo y el brazo de emergencia se vuelve activo.
- 55 2. Convertidor estático según la reivindicación 1, en el que el elemento de conexión (80; 164; 560; 960; 2180) es un elemento comprendido en el conjunto constituido por un diodo, un tiristor, una asociación de dos tiristores montados en modo paralelo invertido y un transistor.
3. Convertidor estático según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2, **caracterizado porque** los
- 60 elementos semiconductores de las células de conmutación del brazo de emergencia de conversión (18; 112; 514; 912; 2112) están configurados para encontrarse en un estado bloqueado cuando el brazo principal está activo en el modo nominal y para sustituir parcialmente o en su totalidad el brazo principal después del aislamiento del brazo que ha sufrido un fallo.
- 65 4. Convertidor estático según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende medios de ayuda para el aislamiento (28) del brazo principal, incluyendo los medios de ayuda para el aislamiento

un tiristor auxiliar (90) o una asociación de dos tiristores auxiliares montados en paralelo invertido, conectado en paralelo al primer terminal de entrada (30) y el segundo terminal de entrada (32) del brazo principal (16), montándose un tiristor auxiliar cuando la fuente de tensión es de corriente continua y usándose una asociación de  
5 dos tiristores auxiliares montados en modo paralelo invertido cuando la fuente de tensión es de corriente alterna, y

medios de control (92) del tiristor auxiliar (90) o de los dos tiristores auxiliares configurados de manera que si el brazo de conversión principal (16) en fallo no es aislado simétricamente por el par (20) de componentes de aislamiento (70, 72) que está asociado a él, crea un cortocircuito en los terminales de la carga (6) para provocar un  
10 aislamiento simétrico por cada componente de aislamiento (70, 72) del par.

5. Convertidor estático según la reivindicación 4, que comprende para cada célula de conmutación del brazo de conversión principal medios de protección rápida asociados capaces de detectar una corriente de cortocircuito intolerable que circula a través de la célula con respecto a un valor de una corriente umbral  
15 predeterminado y de provocar la apertura de la célula de conmutación después de la detección de la superación de la corriente umbral.

6. Convertidor estático según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende además medios de detección (24) del brazo principal en fallo (16) capaces de ordenar a los medios de control de las células  
20 de conmutación del brazo de emergencia (18) que adopten la misma configuración de control que la del brazo detectado en fallo.

7. Convertidor estático según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque:**

25 el convertidor estático comprende al menos dos brazos principales (16; 106, 108; 606, 608) siendo cada brazo principal (16; 106, 108; 606, 608) de estructura idéntica e incluyendo al menos una célula de conmutación electrónica provista de medios de control asociados, un primer terminal de entrada (30; 170, 172) y un segundo terminal de entrada de alimentación (32; 182, 184) capaces de conectarse respectivamente a la primera polaridad (8;134) y la segunda polaridad (10; 135) de la fuente eléctrica (4; 134), un terminal de salida de fase conectado con  
30 una célula de conmutación de salida (36; 137, 138) capaz de conectarse a una fase distinta de la carga eléctrica, estando cada célula de conmutación configurada a través de sus medios de control para estar activa en un modo nominal predeterminado del convertidor,

el convertidor comprende para cada brazo de conversión principal (16; 106, 108; 606, 608) un par de componentes  
35 de aislamiento asociado y formado por un primer componente de aislamiento (20; 114, 118; 612, 614) y un segundo componente de aislamiento (72; 116, 120; 612, 614) que forman cada uno un dipolo, estando el primer componente de aislamiento (20; 114, 118; 612, 614) y el segundo componente de aislamiento (72; 116, 120; 612, 614) conectados directa y respectivamente con el primer terminal de entrada (30; 170, 172) y el segundo terminal de entrada (30; 170, 172), de alimentación, del brazo principal (16; 106, 108; 606, 608) asociado,

40 el convertidor comprende un único brazo de conversión de emergencia (18; 112; 612) que tiene al menos una célula de conmutación de salida (56; 142; 612) y un terminal de salida (54; 136) conectado con la célula de conmutación de salida (56; 142; 612), y

45 el convertidor comprende para cada brazo de conversión principal (16; 106, 108; 606, 608) un circuito de conmutación (26;130; 132; 628, 630) asociado que tiene un elemento de conexión (80;160, 162) conectado entre el terminal de salida del brazo de emergencia (54; 136) y el primer terminal de entrada (30; 170, 172) del brazo de conversión principal asociado,

50 el convertidor comprende para cada brazo de conversión principal (16; 106, 108; 606, 608) medios de detección y de localización (24) del brazo principal en fallo (16) capaces de ordenar a los medios de control de las células de conmutación del brazo de emergencia (18) que adopten la misma configuración de control que la del brazo detectado en fallo y localizado, la o las células de conmutación de un brazo principal cualquiera conectadas en serie entre el primer terminal de entrada y el segundo terminal de entrada son capaces cada una de presentar una  
55 impedancia permanente estable inferior a varias decenas de miliohmios cuando el brazo principal ha experimentado un fallo resultante de una fuga térmica o un cortocircuito de uno de sus componentes semiconductores,

los componentes de aislamiento (20; 114, 118,116, 120; 612, 614) de cada brazo principal (16; 106, 108; 606, 608) están dimensionados de manera que aíslan el brazo principal después del transcurso de un primer periodo de  
60 tiempo t1 para el establecimiento de un modo de fallo de baja impedancia estable en la o las células de conmutación del brazo principal y antes del transcurso de un segundo periodo t2 para evitar la creación de una apertura de circuito en el brazo de conversión principal,

los medios de control de la o las células de emergencia que forman el brazo de emergencia pueden desplegarse  
65 después del aislamiento de uno cualquiera de los brazos principales que ha sufrido un fallo para sustituir parcialmente o en su totalidad el brazo principal que ha sufrido un fallo,



el elemento de conexión o los dos elementos de conexión de cada circuito de conmutación asociado a un brazo principal están configurados para encontrarse en un estado bloqueado cuando el brazo principal está activo en el modo nominal y en un estado conductor cuando el brazo principal está en fallo y el brazo de emergencia se vuelve activo.

8. Convertidor estático según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** comprende

10 un primer número N superior o igual a dos de los brazos de conmutación principales, un segundo número K de brazos de conmutación de emergencia superior o igual a dos, un mismo segundo número K de circuitos de conmutación, estando cada circuito de conmutación asociado a un brazo de conmutación principal distinto, siendo el primer número N superior o igual al primer número K, y **porque**

15 cada brazo principal (16; 106, 108; 606, 608) es de estructura idéntica e incluye al menos una célula de conmutación electrónica provista de medios de control asociados, un primer terminal de entrada (30; 170, 172) y un segundo terminal de entrada de alimentación (32; 182, 184) capaces de conectarse respectivamente a la primera polaridad (8;134) y la segunda polaridad (10; 135) de la fuente eléctrica (4; 134), un terminal de salida de fase conectado con una célula de conmutación de salida (36; 137, 138) capaz de conectarse a una fase distinta de la carga eléctrica, estando cada célula de conmutación configurada a través de sus medios de control para estar activa en un modo nominal predeterminado del convertidor;

25 el convertidor comprende para cada brazo de conversión principal (16; 106, 108; 606, 608) un par de componentes de aislamiento asociado y formado por un primer componente de aislamiento (20; 114, 118; 612, 614) y un segundo componente de aislamiento (72; 116, 120; 612, 614) que forman cada uno un dipolo, estando el primer componente de aislamiento (20; 114, 118; 612, 614) y el segundo componente de aislamiento (72; 116, 120; 612, 614) conectados directa y respectivamente con el primer terminal de entrada (30; 170, 172) y el segundo terminal de entrada (30; 170, 172), de alimentación, del brazo principal (16; 106, 108; 606, 608) asociado;

30 cada brazo de emergencia incluye al menos una célula de conmutación electrónica de semiconductores provista de medios de control asociados, un primer terminal de entrada y un segundo terminal de entrada de alimentación, capaces de conectarse respectivamente a la primera polaridad y la segunda polaridad de la fuente eléctrica, un terminal de salida conectado con una célula de conmutación de salida; y cada circuito de conmutación asociado a un brazo principal es un multipolo electrónico de semiconductores que comprende K elementos de conexión, cada elemento de conexión es un tiristor cuando la fuente de tensión es de corriente continua y una asociación de dos tiristores montados en modo paralelo invertido cuando la fuente de tensión es de corriente alterna, cada circuito de conmutación comprende medios de control asociados a los tiristores,

40 cada elemento de conexión de un mismo circuito de conmutación incluye una entrada conectada a la salida de un brazo de emergencia diferente y una salida conectada a la primera entrada del brazo de conmutación principal al que está asociado el circuito de conmutación;

45 los medios de control de los tiristores de los circuitos de conmutación están configurados para encontrarse en un estado bloqueado cuando los brazos principales a los que están asociados están activos;

los medios de control de los tiristores de los circuitos de conmutación están configurados de manera que cuando un brazo de conmutación principal cualquiera conectado a un conmutador tiene un fallo, puede ser asistido por uno cualquiera de los brazos de emergencia todavía no convertido en activo.

50 9. Convertidor estático según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que

el convertidor es un inversor (102) que puede conectarse a una fuente de tensión de corriente continua y suministrar a una carga eléctrica una corriente alterna en al menos una fase,

55 el primer terminal de entrada (30;170) y el segundo terminal de entrada (32;182) de alimentación de un brazo principal pueden conectarse respectivamente a una primera polaridad positiva (8; 134) y una segunda polaridad negativa (10;135) de la fuente eléctrica (4;104; 604);

60 cada célula de conmutación de un brazo principal o de un brazo de emergencia comprende un par de interruptores bidireccionales de corriente montados en serie, estando formado cada interruptor bidireccional de corriente por un interruptor controlado y un diodo asociado montado en antiparalelo, siendo cada interruptor controlado un elemento comprendido en el conjunto formado por tiristores, transistores de tipo IGBT, transistores de tipo MOS;

65 los medios de control de las células de conmutación del o de los brazos principales están configurados de manera que el convertidor funciona como inversor en una o varias fases;

el circuito de conmutación (130, 132) incluye un primer elemento de conexión semiconductor unidireccional de corriente no controlado (160, 162) y un segundo elemento de conexión semiconductor unidireccional de corriente no controlado (176, 178), estando el primer elemento de conexión (160, 162) conectado en modo directo desde la salida del brazo de emergencia (136) al primer terminal de entrada del brazo principal, estando el segundo elemento  
5 de conexión conectado en modo inverso desde la salida del brazo de emergencia hacia el segundo terminal de entrada negativa del brazo principal.

10. Convertidor estático según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque**

10 el convertidor es un troceador que puede conectarse a una fuente de tensión de corriente continua y suministrar a una carga eléctrica una corriente continua en al menos una fase de salida,

el primer terminal de entrada (30;170) y el segundo terminal de entrada (32;182) de alimentación de un brazo principal pueden conectarse respectivamente a una primera polaridad positiva (8; 134) y una segunda polaridad  
15 negativa (10;135) de la fuente eléctrica (4;104; 604),

cada célula de conmutación de un brazo principal o de un brazo de emergencia comprende un interruptor bidireccional montado en serie con un diodo o un segundo interruptor, estando cada interruptor bidireccional de corriente formado por un interruptor controlado y un diodo asociado montado en antiparalelo, siendo cada interruptor  
20 controlado un elemento comprendido en el conjunto formado por tiristores, transistores de tipo IGBT, transistores de tipo MOS;

los medios de control de las células de conmutación del o de los brazos principales están configurados de manera que el convertidor funciona como troceador,

25 el circuito de conmutación asociado a un brazo principal comprende un único elemento de conexión de semiconductores configurado para ser unidireccional en corriente, estando el elemento de conexión unidireccional conectado en modo directo desde la salida del brazo de emergencia al primer terminal de entrada del brazo de conversión principal asociado.

30 11. Convertidor estático según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque**

el convertidor es un convertidor de la familia c.a./c.a. capaz de convertir la energía eléctrica entre una fuente de tensión a corriente alterna y de suministrar a una carga eléctrica una corriente alterna en al menos una fase de  
35 salida,

el primer terminal de entrada (30;170) y el segundo terminal de entrada (32;182) de alimentación de un brazo principal cualquiera pueden conectarse respectivamente a una primera polaridad positiva (8; 134) y una segunda polaridad negativa (10;135) de la fuente eléctrica (4;104; 604);

40 cada célula de conmutación de un brazo principal o de un brazo de emergencia comprende un par de interruptores bidireccionales de corriente montados en serie, estando cada interruptor bidireccional de corriente formado por un interruptor controlado y un diodo asociado montado en antiparalelo, siendo cada interruptor controlado un elemento comprendido en el conjunto formado por tiristores, transistores de tipo IGBT, transistores de tipo MOS;

45 los medios de control de las células de conmutación del o de los brazos principales están configurados de manera que el convertidor funciona como un convertidor de tensión de tipo c.a./c.a. sobre una o varias fases de salida,

el circuito de conmutación (130, 132) incluye un primer elemento de conexión semiconductor bidireccional de corriente (160, 162) y un segundo elemento de conexión semiconductor bidireccional en corriente y en tensión (176, 178), estando el primer elemento de conexión (160, 162) conectado entre desde la salida del brazo de emergencia (136) al primer terminal de entrada del brazo principal, estando el segundo elemento de conexión conectado en modo inverso desde la salida del brazo de emergencia hacia el segundo terminal de entrada negativa del brazo principal.

55 12. Convertidor estático según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que

el convertidor es un inversor (2102), configurado para ser conectado a una fuente de tensión (2104) de corriente continua y para suministrar a una carga eléctrica una corriente alterna en al menos una fase (A, B, C),

60 que comprende un puente divisor capacitivo (2113), configurado para proporcionar un punto central estable (2137) de tensión de alimentación de entrada, y

que comprende para cada fase y cada brazo principal asociado (2106, 2108, 2110) un componente de aislamiento (2115, 2119, 2123) del brazo principal del punto central (2137) del puente divisor capacitivo (2113); cada brazo principal asociado a una fase y el brazo de emergencia comprenden un terminal de entrada diferente de imposición

del punto central de tensión;

el primer terminal de entrada (2190, 2192, 2194) y el segundo terminal de entrada (2202, 2204, 2206) de alimentación de un brazo principal cualquiera (2106, 2108, 2110) están conectados respectivamente a una primera polaridad positiva (2139) y una segunda polaridad negativa (2140) de la fuente eléctrica (2104) a través de un par diferente de componentes de aislamiento (2214, 2116, 2118, 2120, 2122, 2124);

cada terminal de entrada de imposición del punto central de tensión está conectado al punto neutro (2137) de tensión de alimentación de entrada a través de un componente de aislamiento (2115, 2119, 2123) del brazo principal asociado del punto central (2137) del puente divisor capacitivo (2113);

cada célula de conmutación de un brazo principal (2106, 2108, 2110) o de un brazo de emergencia (2112) comprende un par de interruptores bidireccionales de corriente montados en serie, estando cada interruptor bidireccional de corriente formado por un interruptor controlado y un diodo asociado montado en antiparalelo, siendo cada interruptor controlado un elemento comprendido en el conjunto formado por tiristores, transistores de tipo IGBT, transistores de tipo MOS;

cada brazo principal (2106) comprende una célula de conmutación (2164), de salida que tiene un terminal de conexión con sus dos interruptores que forman un terminal de salida de una fase (A),

el circuito de conmutación (2125, 2126, 2127) incluye un primer elemento de conexión semiconductor unidireccional de corriente no controlado (2180, 2182, 2184) y un segundo elemento de conexión semiconductor unidireccional de corriente no controlado (2196, 2198, 2200), estando el primer elemento de conexión (2125, 2126, 2127) conectado en modo directo desde la salida (2148) del brazo de emergencia (2112) al primer terminal de entrada (2190, 2192, 2194) del brazo principal (2106, 2108, 2110), estando el segundo elemento de conexión (2196, 2198, 2200) conectado en modo inverso desde la salida (2148) del brazo de emergencia (2112) hacia el segundo terminal de entrada negativa del brazo principal;

los medios de control de las células de conmutación (2172) del o de los brazos principales (2106, 2108, 2110) están configurados de manera que el convertidor funciona como inversor en una o varias fases cuando todos los brazos principales funcionan sin fallo.

13. Convertidor estático según la reivindicación 12, en el que

el convertidor es un inversor (2102) de varios niveles de tensión de tipo ANPC o NPC,

cada célula de conmutación de un brazo principal (2106, 2108, 2110) o de un brazo de emergencia (2112) comprende un par de interruptores bidireccionales de corriente montados en serie, estando cada interruptor bidireccional de corriente formado por un interruptor controlado y un diodo asociado montado en antiparalelo, siendo cada interruptor controlado un elemento comprendido en el conjunto formado por tiristores, transistores de tipo IGBT, transistores de tipo MOS;

cada brazo principal (2106) comprende por su parte una primera y una segunda células internas de conmutación (2162, 2164), agrupadas en paralelo, o una única célula interna cuya serie de interruptores está conectada en paralelo a una serie de dos diodos, y una célula externa de conmutación (2166) en la que están imbricadas la primera y la segunda células internas de conmutación (2162, 2164) o la única célula interna y la serie de dos diodos, teniendo la primera célula interna (2162) o la serie de dos diodos un punto común (2142), formando la segunda célula interna o la única célula interna la célula de salida y teniendo un terminal de conexión con sus dos interruptores que forman un terminal de salida de una fase (A),

los medios de control de las células de conmutación (2172) del o de los brazos principales (2106, 2108, 2110) están configurados de manera que el convertidor funciona como inversor de varios niveles de tensión de tipo ANPC o de tipo NPC en una o varias fases cuando todos los brazos principales funcionan sin fallo.

14. Convertidor estático según la reivindicación 12 que comprende para cada brazo principal un medio asociado de aislamiento del punto central de entrada del brazo principal diferente al del punto central del puente divisor capacitivo.

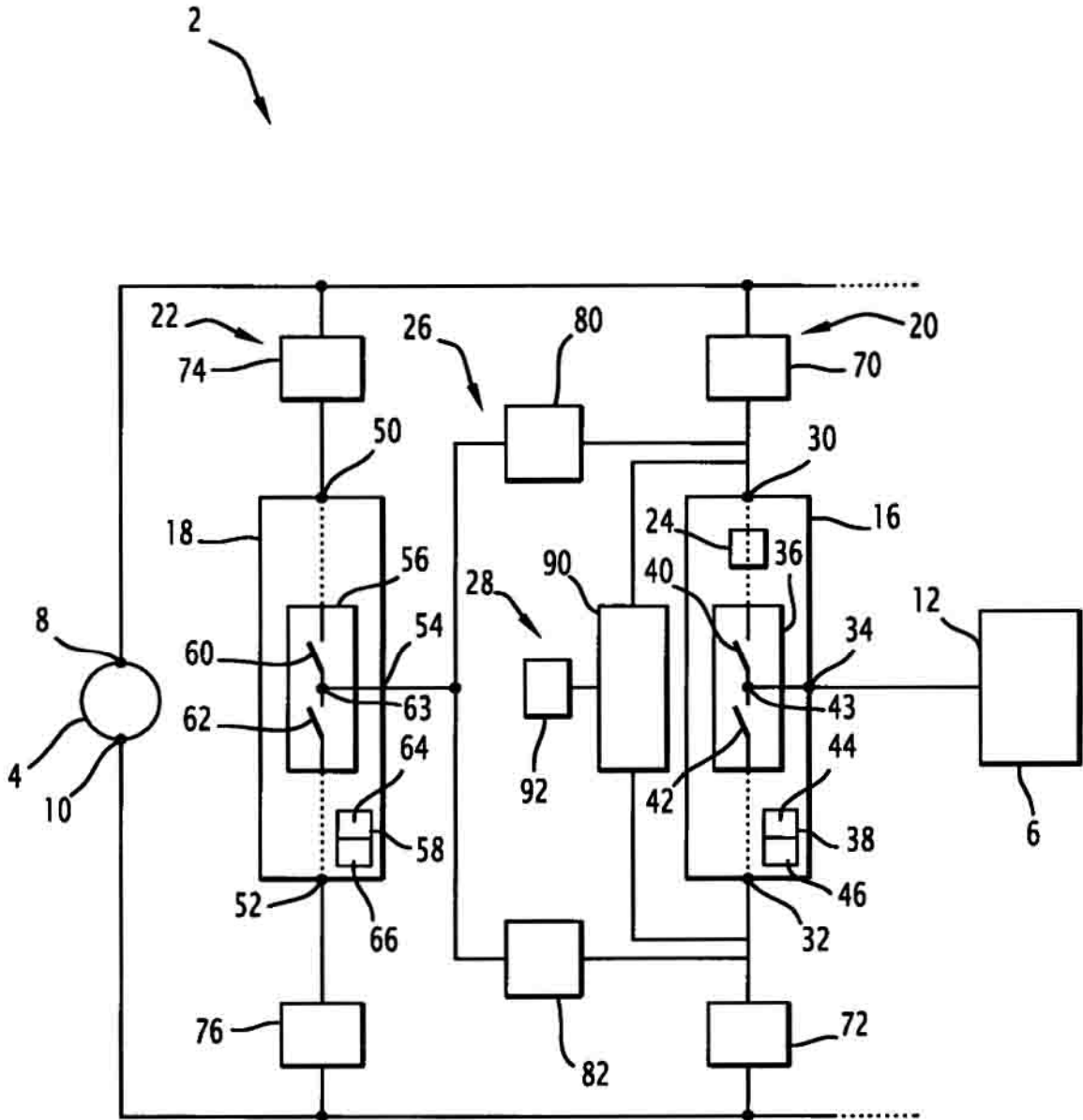
15. Procedimiento de mantenimiento en servicio de un convertidor estático definido según una de las reivindicaciones 1 a 14, **caracterizado porque** comprende las etapas que consisten **en que:**

- los medios de control de los interruptores controlados de las células de conmutación de los brazos principales están configurados (1010) de manera que el convertidor estático funciona de forma nominal en los brazos principales cuando ninguno de los componentes de potencia que forman los brazos principales tiene un fallo,

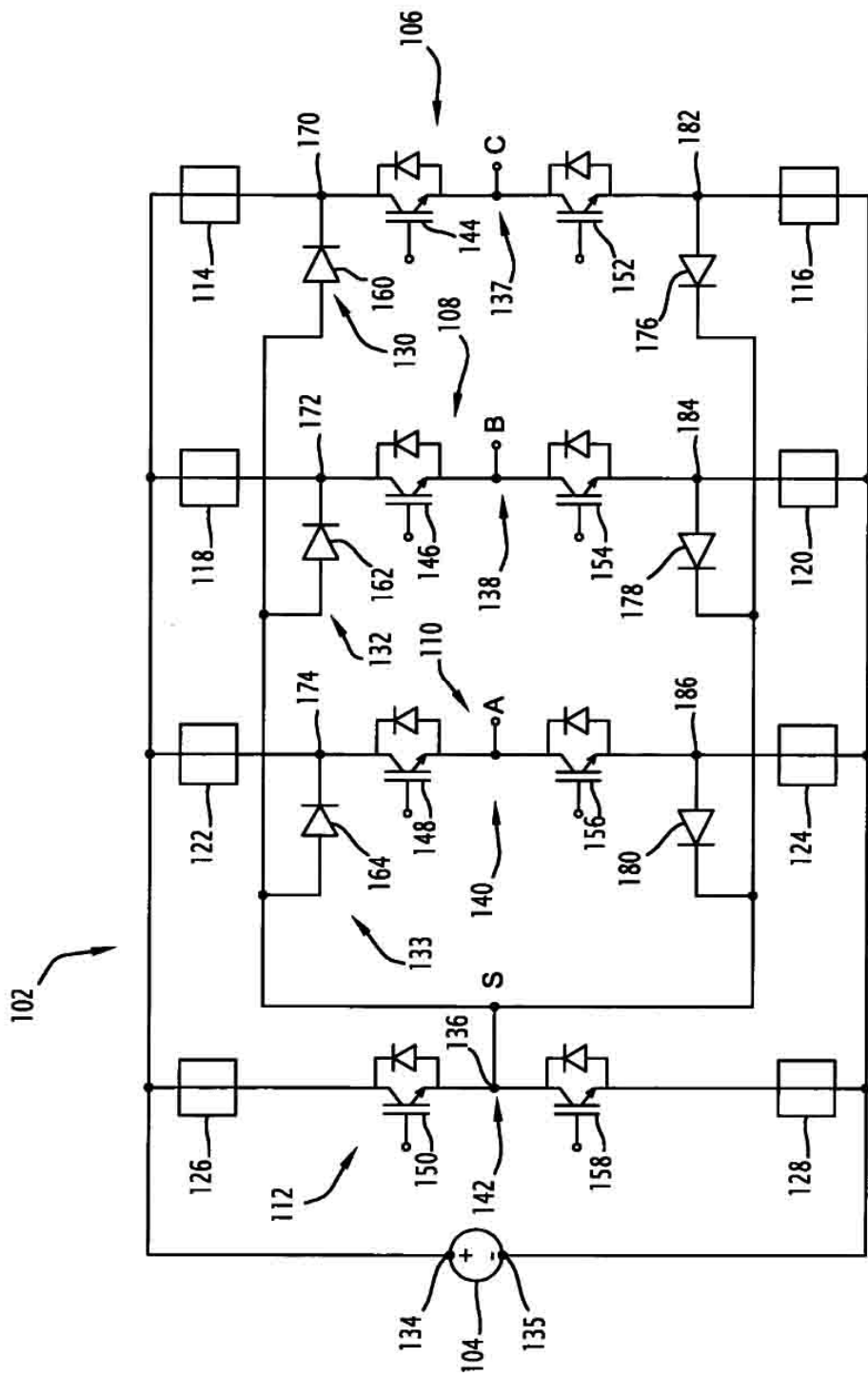
- cuando se produce un fallo en un interruptor de una célula principal, todos los interruptores del brazo principal al

que pertenece el interruptor defectuoso y conectados en serie, se ponen en cortocircuito (1020) durante un tiempo  $t$  de obtención del aislamiento del brazo principal que ha sufrido un fallo, superior a un primer tiempo  $t_1$  para que el brazo principal alcance un estado estable y permanente de conductor de muy baja impedancia inferior a varias decenas de miliohmios, e inferior a un segundo periodo  $t_2$  por debajo del cual se conserva la integridad de los 5 componentes del brazo principal defectuoso así como el estado conductor alcanzado por el brazo principal defectuoso,

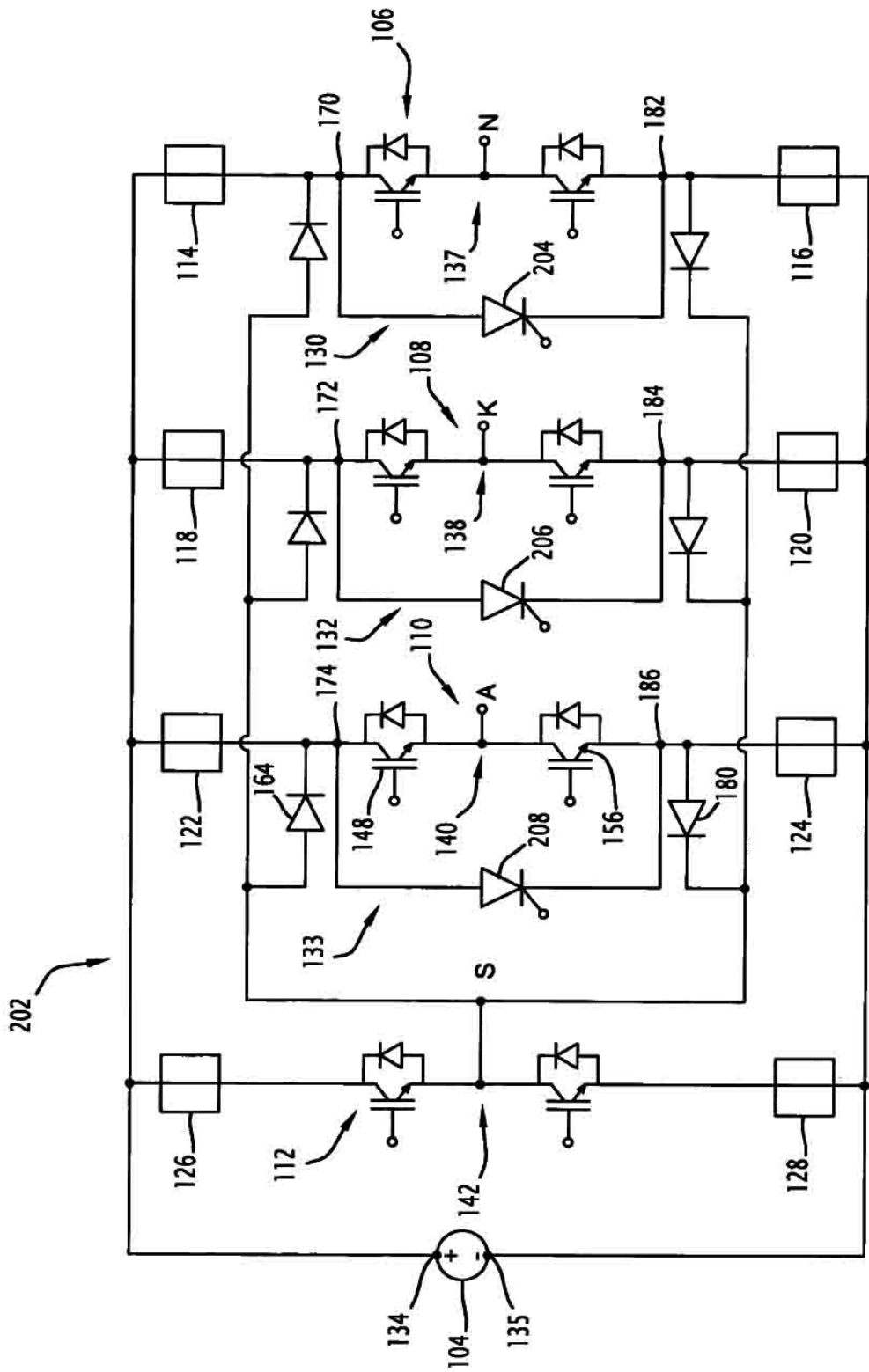
- los interruptores de emergencia configurados en la misma configuración que la de los interruptores del brazo principal en fallo están conectados (1030) automáticamente por el circuito de conmutación del brazo principal 10 defectuoso convertido en un conductor estable.



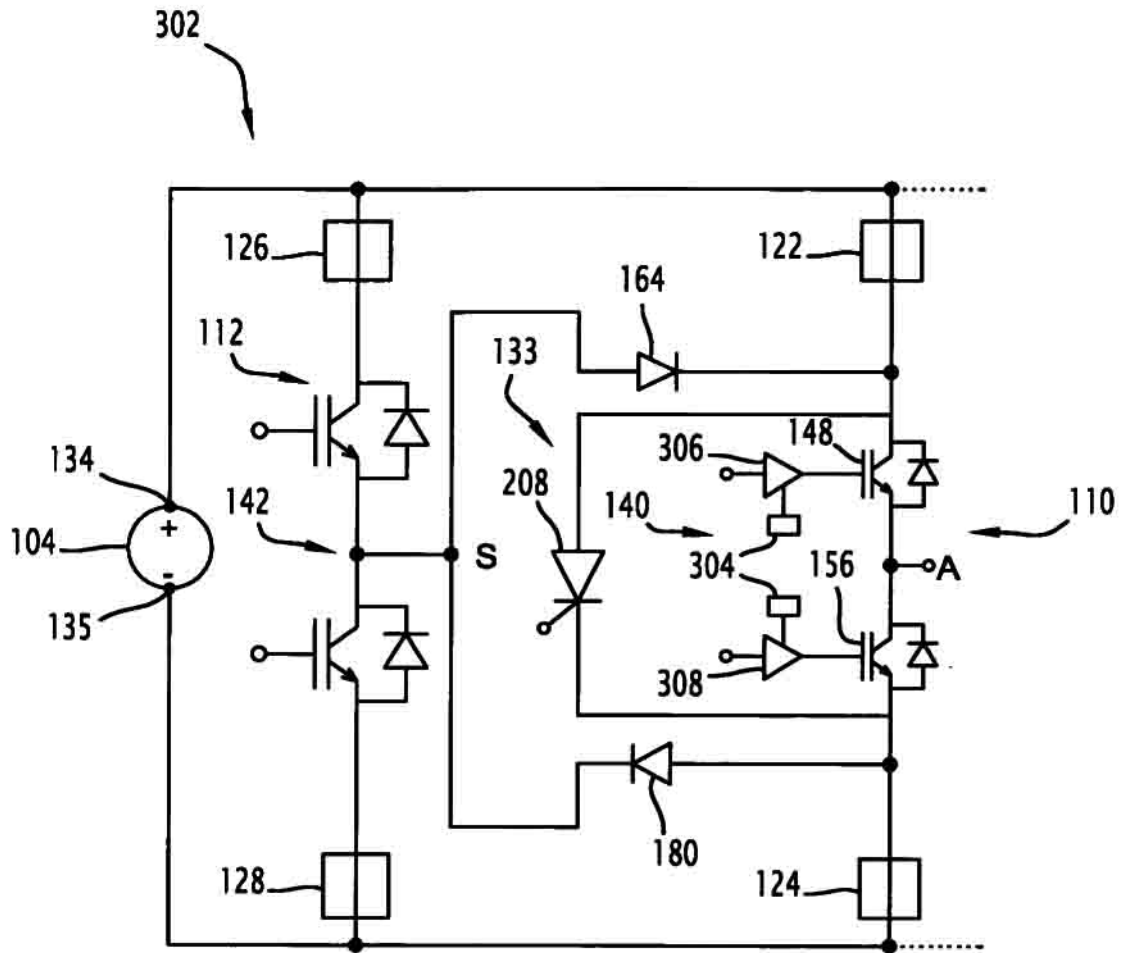
**FIG.1**



**FIG. 2**

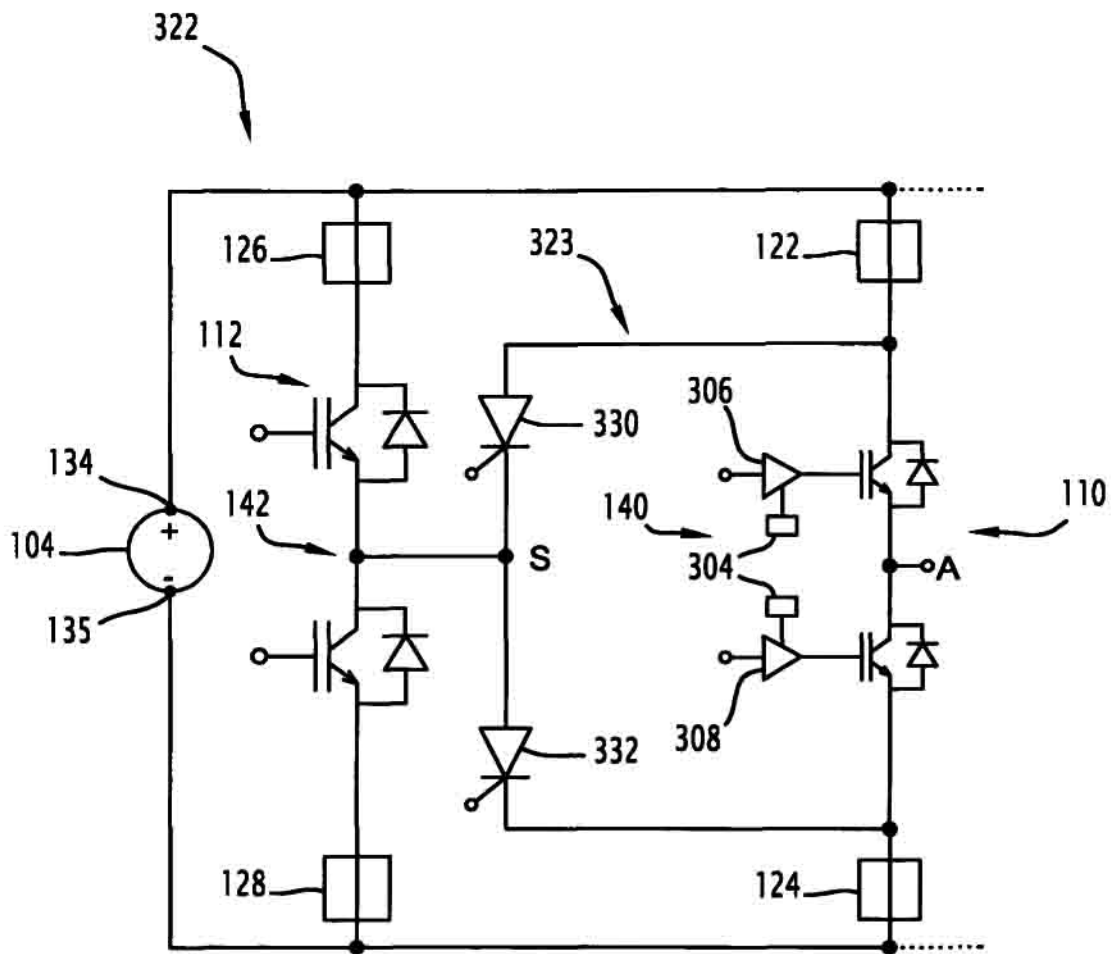


**FIG.3**

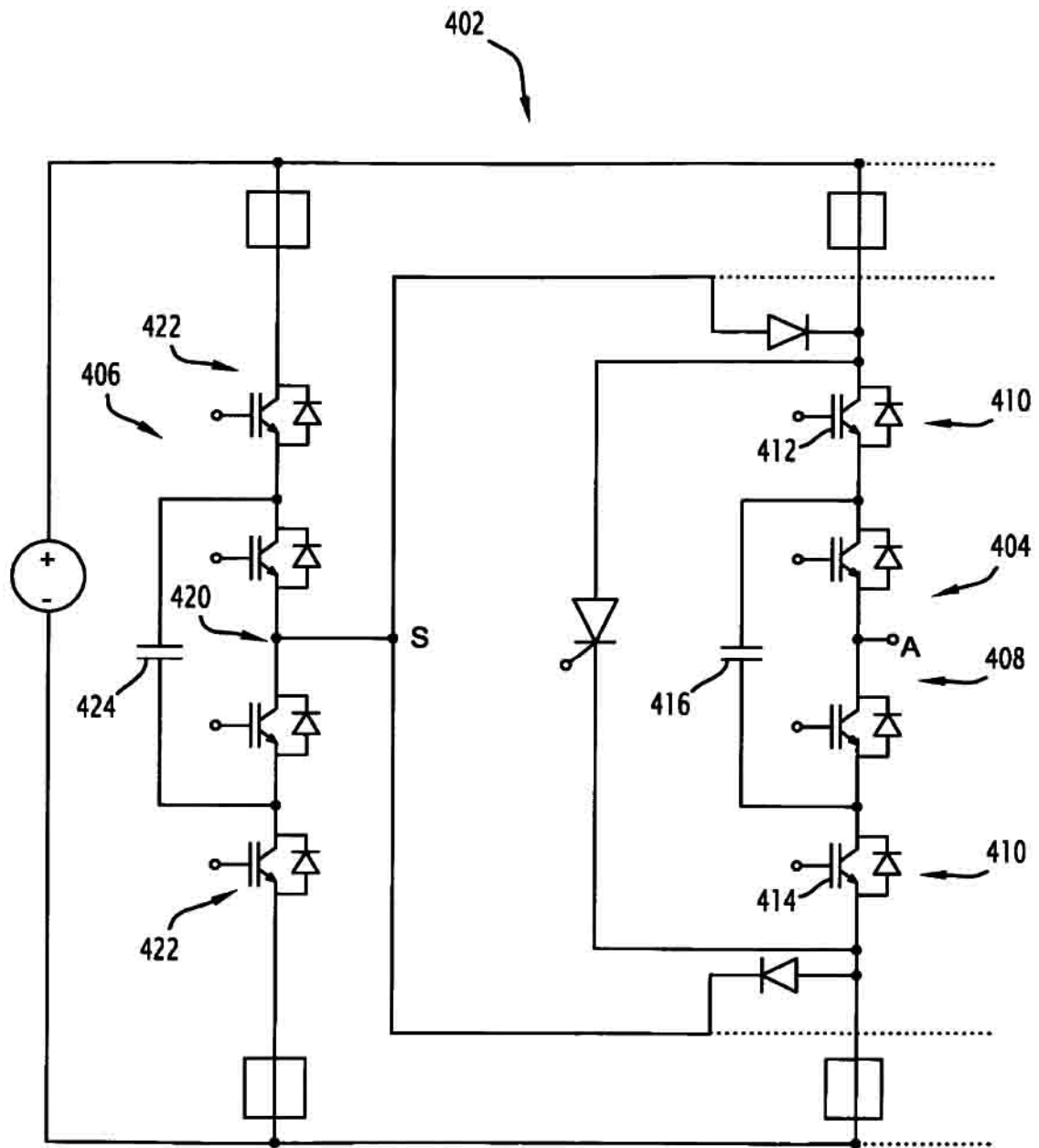


**FIG.4**

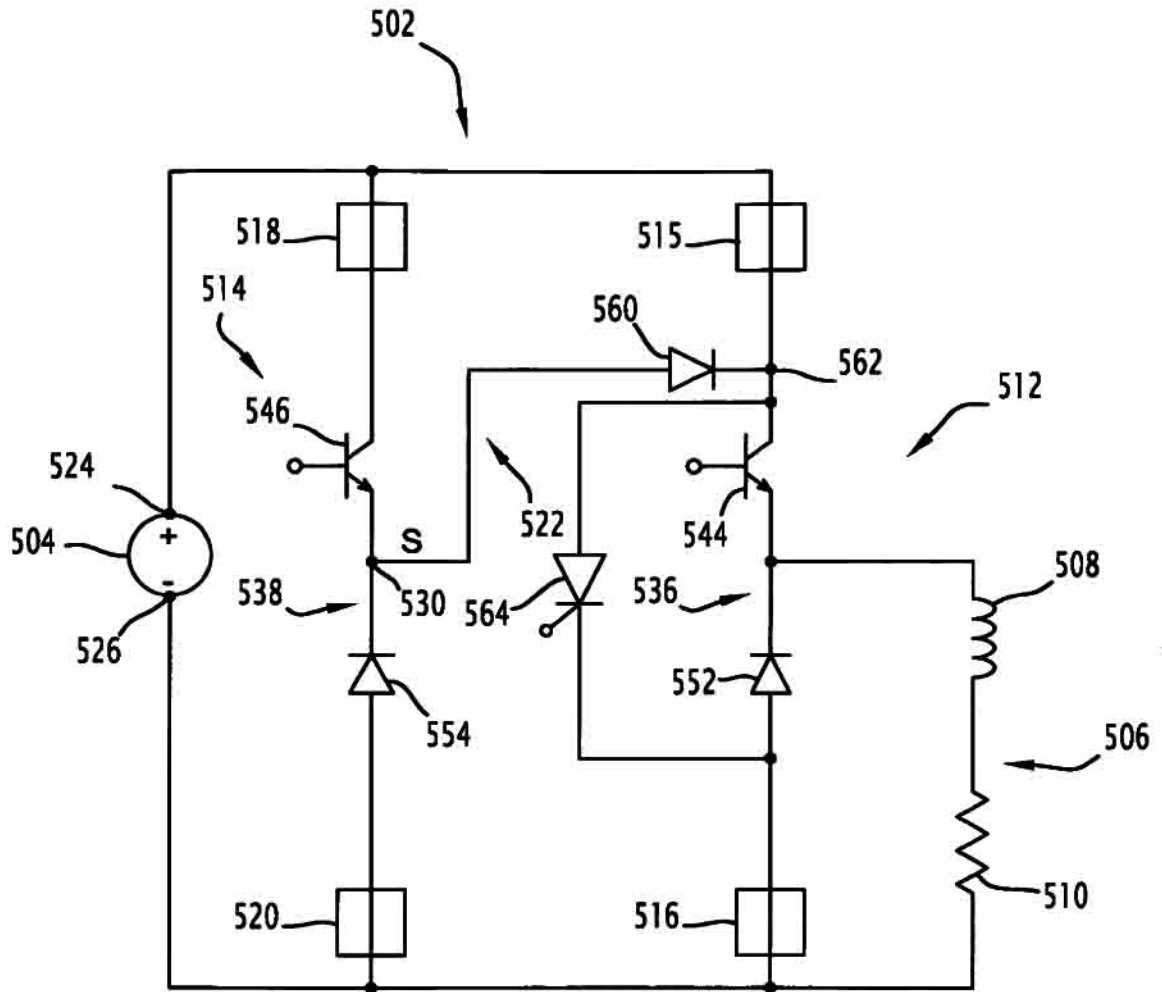




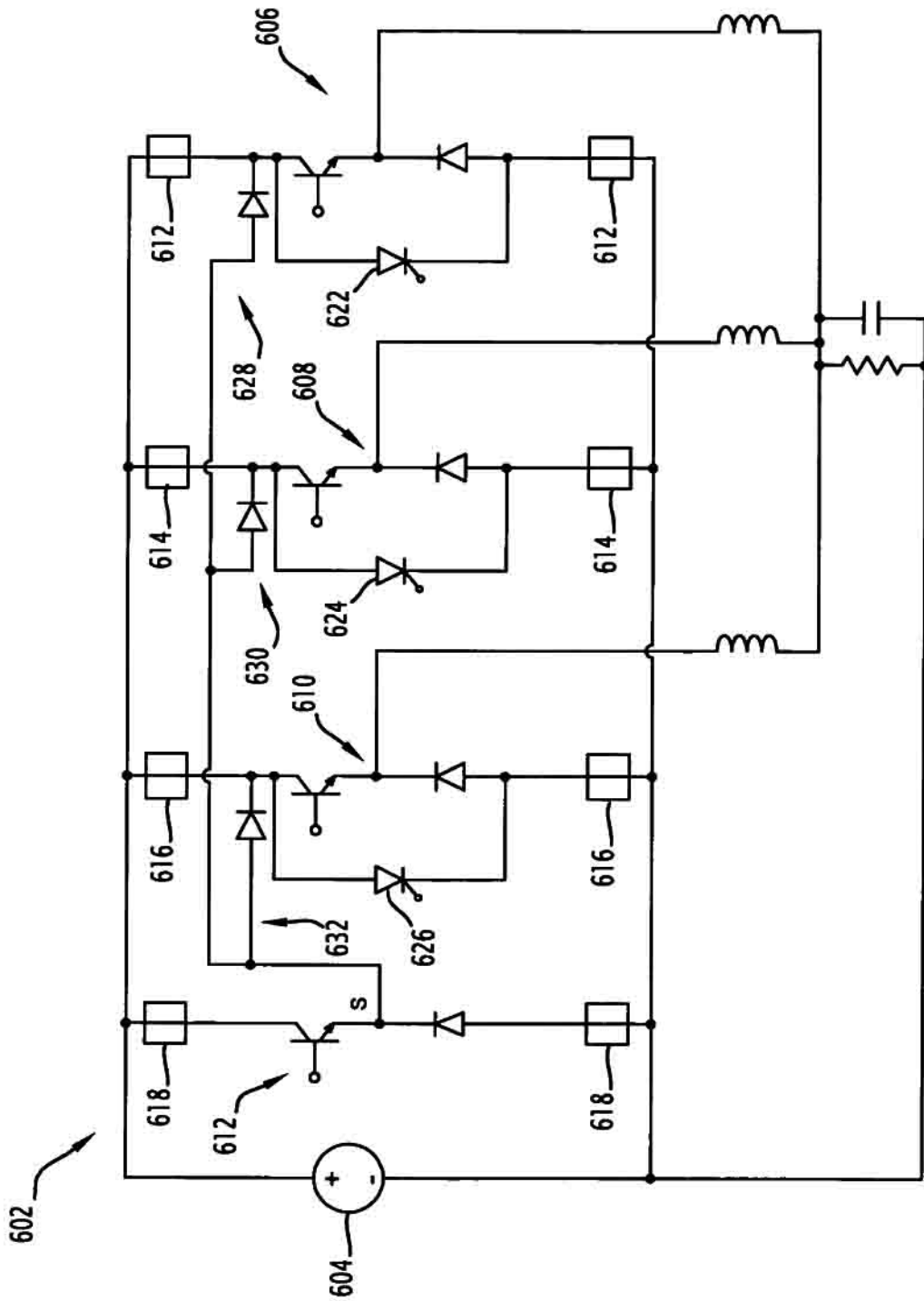
**FIG.5**



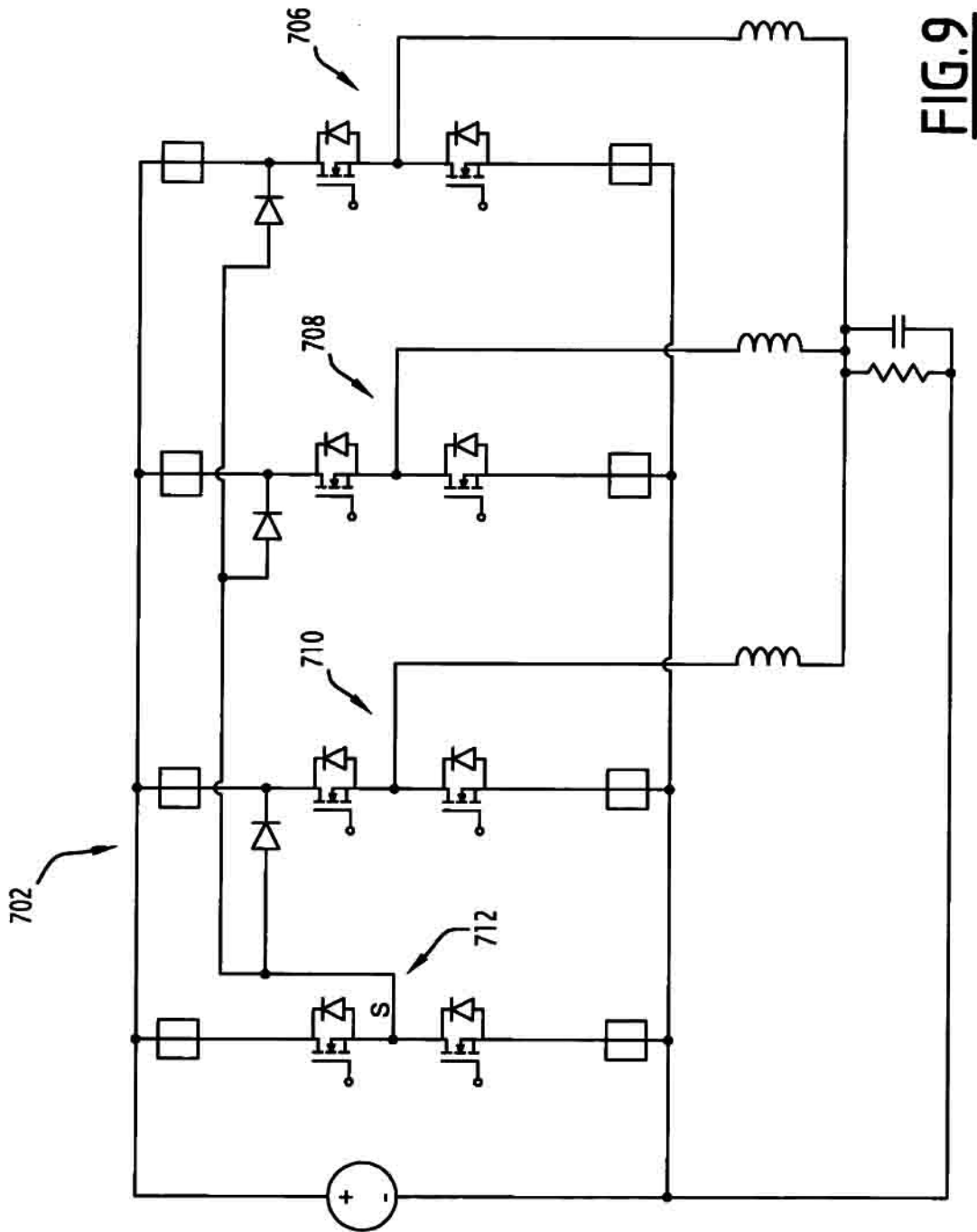
**FIG. 6**



**FIG. 7**



**FIG. 8**



**FIG. 9**

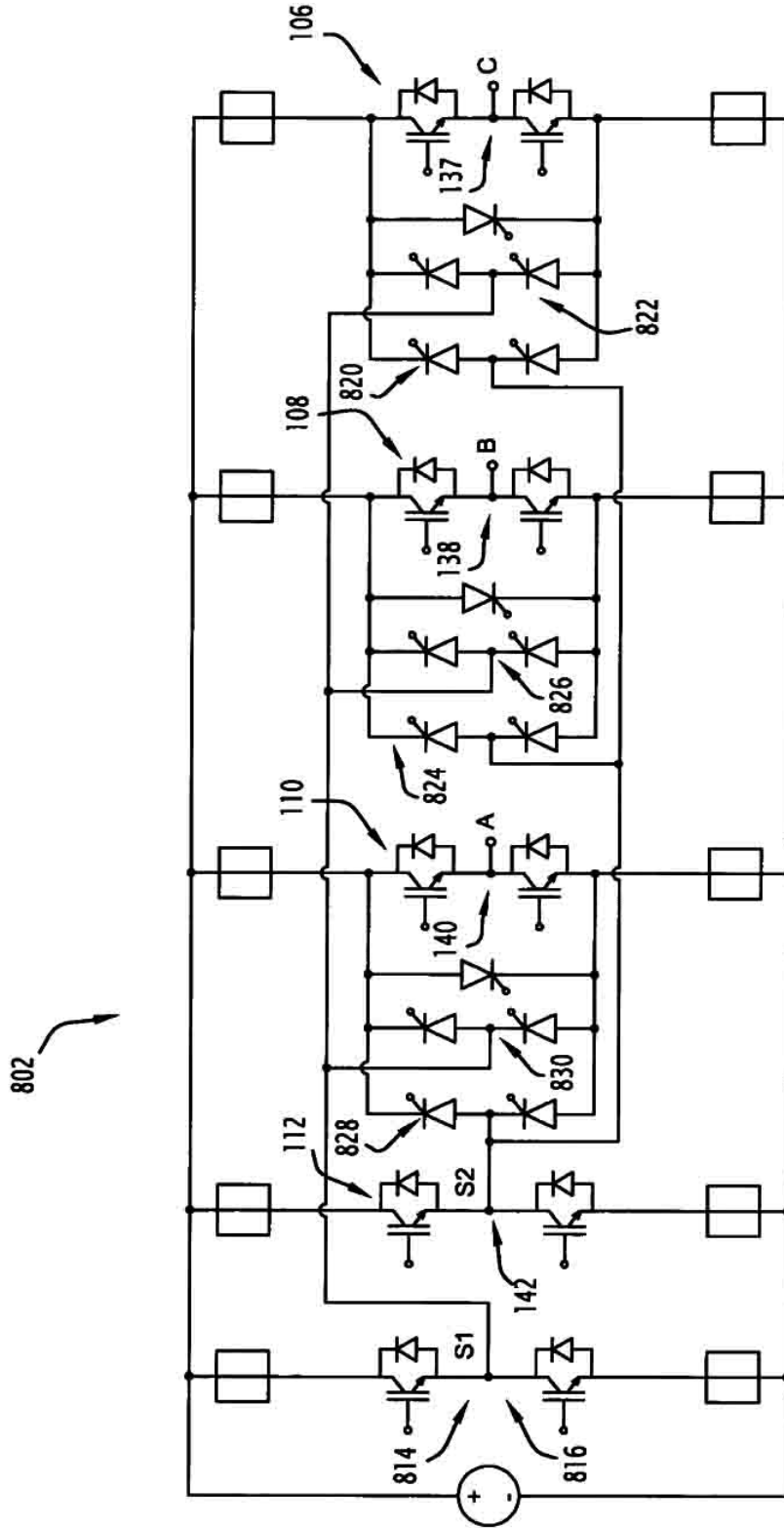
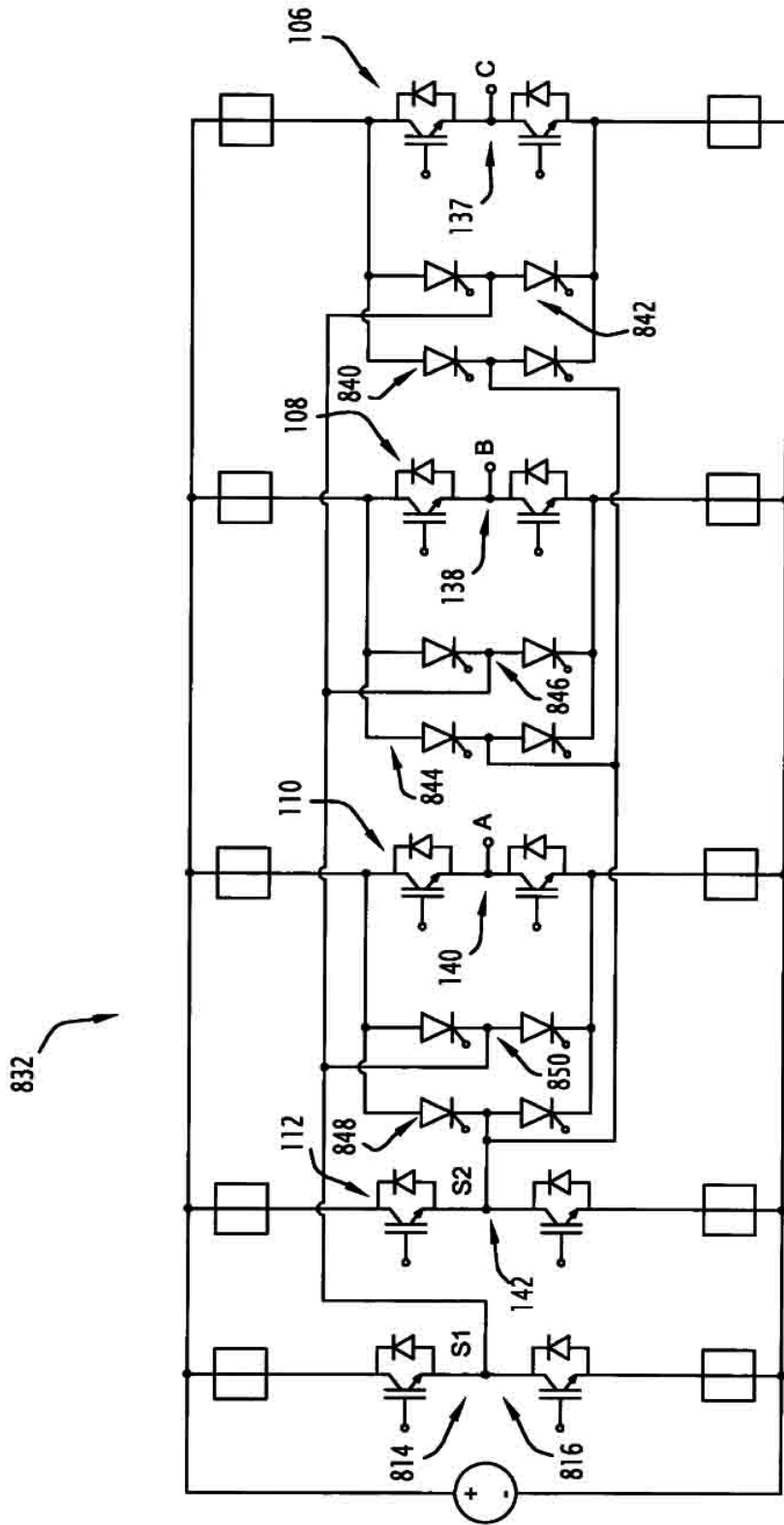
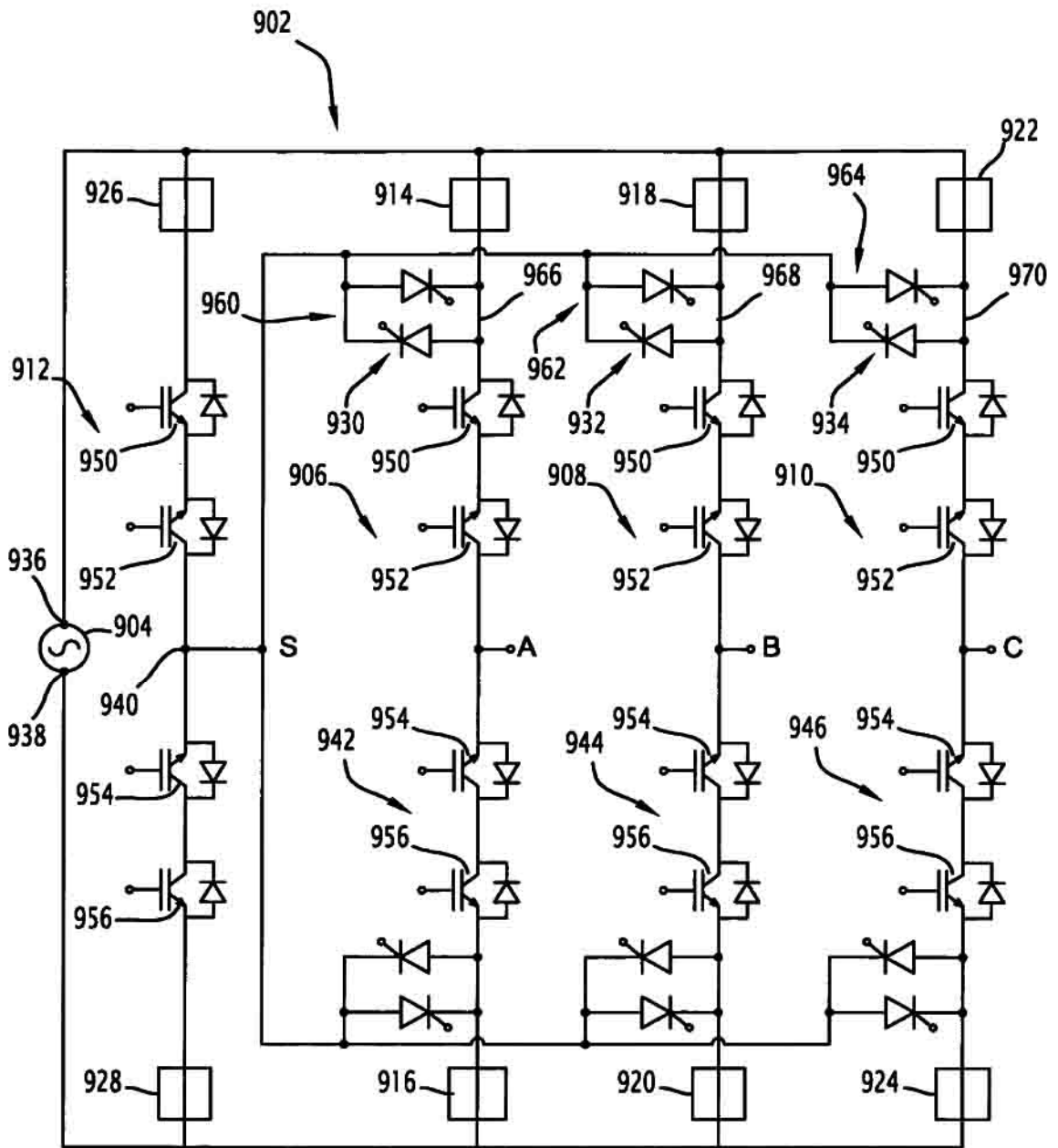


FIG.10

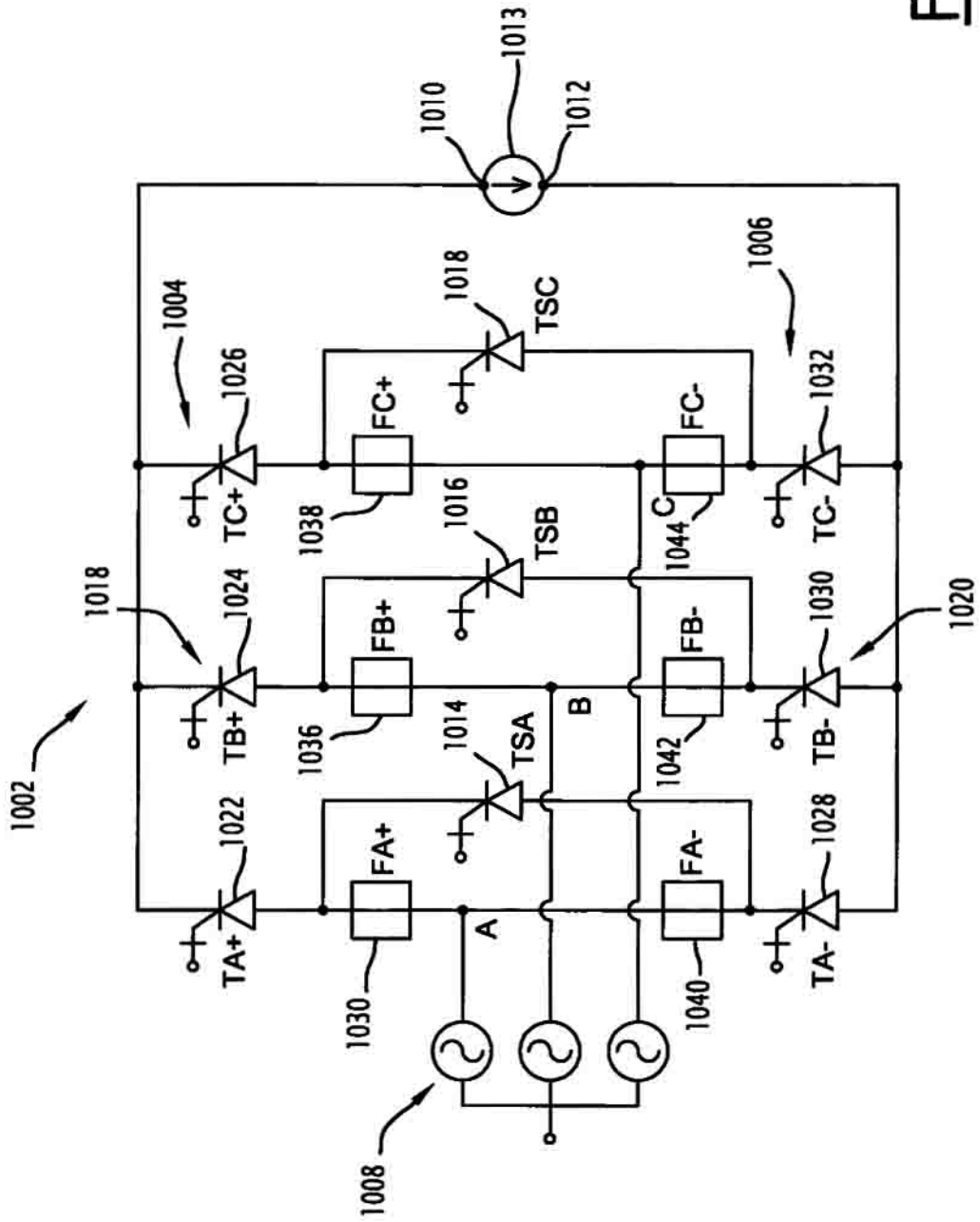


**FIG.11**

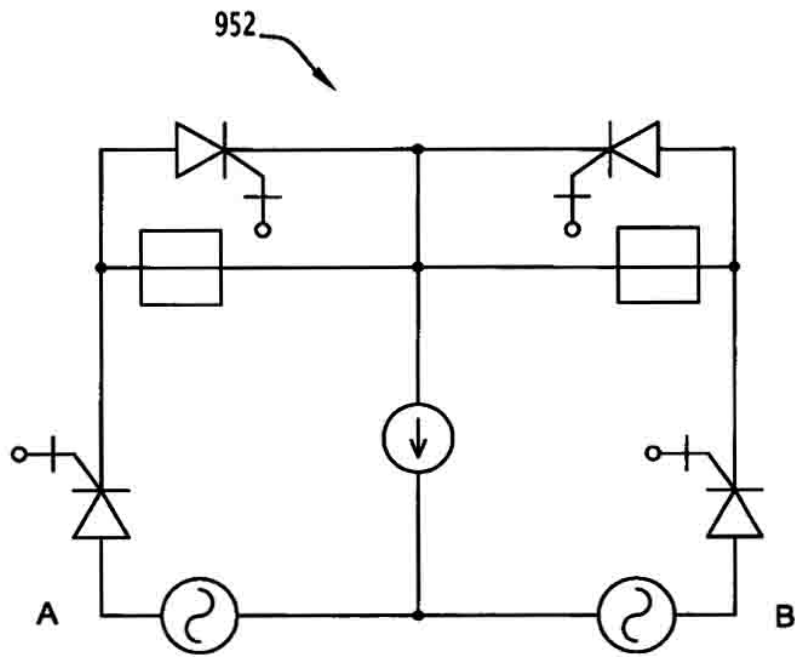


**FIG.12**

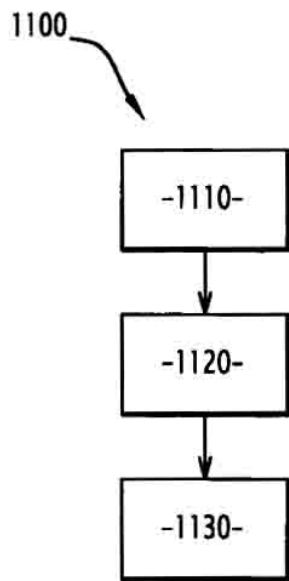




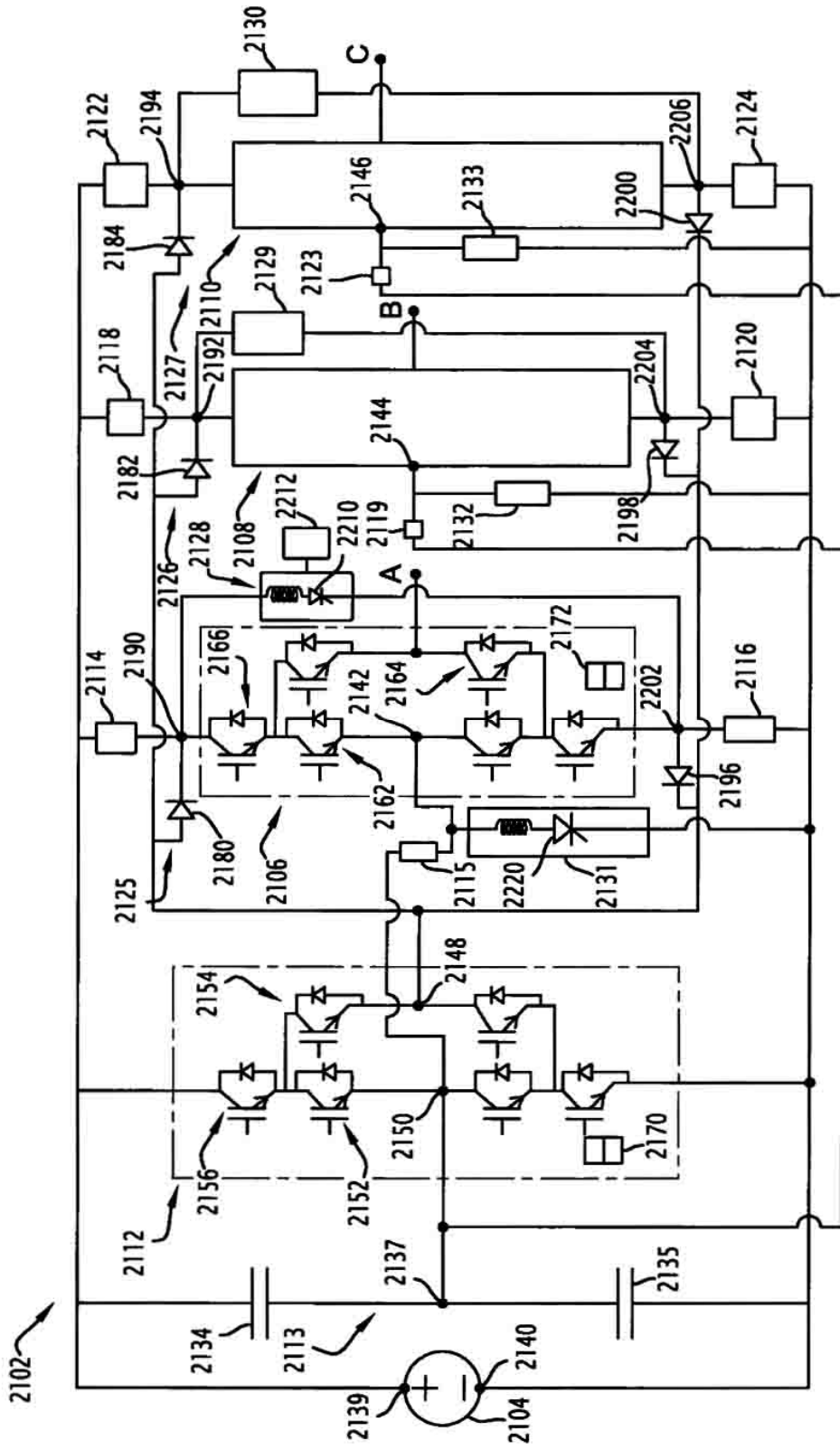
**FIG.13**



**FIG.14**



**FIG.15**



**FIG.16**