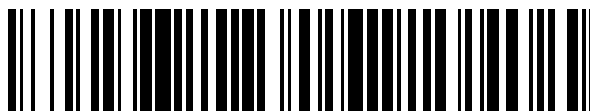


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 378 258**

51 Int. Cl.:
B63G 8/08

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07019996 .3**
96 Fecha de presentación: **12.10.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **1933451**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **18.06.2008**

54 Título: **Submarino con red eléctrica embarcada**

30 Prioridad:
13.12.2006 DE 102006059199

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
10.04.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
10.04.2012

73 Titular/es:
**HOWALDTSWERKE-DEUTSCHE WERFT GMBH
WERFTSTRASSE 112-114
24143 KIEL, DE**

72 Inventor/es:
**Buder, Ingo y
Pischke, Sabine**

74 Agente/Representante:
Lehmann Novo, Isabel

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).

ES 2 378 258 T3

DESCRIPCIÓN

Submarino con red eléctrica embarcada.

La invención concierne a un submarino con una red eléctrica embarcada.

5 En los submarinos la red eléctrica embarcada es alimentada habitualmente por inversores que convierten la tensión continua entregada por las baterías o una instalación de pila de combustible en una tensión alterna (corriente alterna o corriente trifásica). Por motivos de seguridad frente a fallos, se utilizan aquí siempre varios onduladores o inversores. Hasta ahora, las redes embarcadas en submarinos están separadas para ello usualmente en dos o más redes parciales que son alimentadas con corriente por un respectivo inversor. Usualmente, se prevé también al menos un inversor de reserva que no está constantemente en funcionamiento y que puede conectarse discrecionalmente a una de las redes parciales en caso de que falle el inversor allí instalado. Para aumentar aún más la seguridad frente a fallos puede existir también la posibilidad de conectar las dos redes parciales una a otra de modo que éstas sean alimentadas con corriente por un inversor común. En este concepto es desventajoso el hecho de que se producen tiempos de conmutación condicionados por el principio de construcción que admiten solamente una libertad de interrupción condicionada del suministro de corriente, lo que puede conducir a que, al conmutar, puedan presentarse pérdidas de datos, desexcitaciones de relés, fallos de instrumentos y similares.

15 El documento DE 94 13 638 U1 concierne a un submarino con una red eléctrica embarcada, en el que dos inversores alimentan a una red embarcada común. En esta disposición es problemática la sincronización de los inversores de modo que éstos, juntos o individualmente, puedan asegurar un suministro de corriente exento de interrupciones.

20 El documento WO 98/48497 revela una red eléctrica embarcada para barcos con un ordenador de protección para efectuar una desconexión rápida de zonas de la red afectadas de cortocircuito. A este fin, se registran a través de sensores de corriente la magnitud y la fase de las corrientes que circulan en distintas zonas de la red y se suman estas corrientes. Por la magnitud de los vectores de corriente sumados puede reconocerse un caso de cortocircuito.

25 El cometido de la invención consiste en crear un submarino con una red eléctrica embarcada que haga posible un suministro de corriente casi exento de interrupciones y pueda evitar fallos de instrumentos en amplio grado.

Este problema se resuelve mediante un submarino con las características indicadas en la reivindicación 1. Formas de realización preferidas se desprenden de las reivindicaciones subordinadas.

30 Según la invención, el submarino presenta una red eléctrica embarcada con al menos dos aparatos onduladores o inversores que convierten la tensión continua proporcionada, por ejemplo, por una batería en una tensión alterna para la red embarcada. Se ha previsto a este respecto que los al menos dos inversores alimenten al mismo tiempo a una barra colectora común. Esto quiere decir que se anula aquí la división usual hasta ahora de la red embarcada en varias redes parciales con barras colectoras separadas que son alimentadas por solamente un respectivo inversor.

35 Para el funcionamiento simultáneo de dos inversores en una red es necesaria la sincronización de los inversores. Para conseguir una gran seguridad frente a fallos se ha previsto según la invención una sincronización que prescinde de una comunicación directa entre los inversores o de un control central de rango superior.

40 Esto se consigue haciendo que cada inversor presente un dispositivo de regulación independiente que cuida de que se sincronice el inversor pertinente con la red. A este fin, el dispositivo de regulación de cada inversor está concebido de modo que pueda registrar magnitudes características eléctricas actuales en la barra colectora y puede ajustar después sobre la base de éstas el inversor pertinente y especialmente su tensión de salida y su frecuencia de modo que el inversor alimente a la red en sincronismo con los demás inversores de la misma barra colectora. Esto quiere decir que cada inversor, debido a su dispositivo de regulación independiente, realiza automáticamente una adaptación de su tensión de salida y su frecuencia en función de las magnitudes características registradas por el dispositivo de regulación. Esto tiene la ventaja de que los distintos inversores pueden alimentar simultáneamente a una red embarcada común, es decir, una barra colectora común, y se proporciona al mismo tiempo una independencia de los inversores, de modo, cuando falle un inversor, esté asegurado el funcionamiento adicional del inversor o los inversores adicionales, con lo que se consigue en conjunto una alta seguridad frente a fallos.

50 Es posible prever también inversores de reserva que registren continuamente las magnitudes características de la red embarcada y se sincronicen continuamente con la red embarcada para que, en el caso de un fallo de otro inversor, puedan asumir entonces la función de éste de una manera ampliamente exenta de interrupciones. Dado que los distintos inversores trabajan independientemente, es decir, sin unión directa, comunicación directa o control de rango superior, no existen según la invención componentes adicionales de unión o de rango superior para el funcionamiento conjunto de los inversores que, en caso de fallo, pudieran conducir a un fallo total de la instalación. Asimismo, todos los inversores y sus dispositivos de regulación tienen preferiblemente una construcción idéntica y son equivalentes en su funcionamiento. Así, a diferencia de una regulación maestro/esclavo, el fallo de un inversor

no puede conducir al fallo total.

Preferiblemente, cada dispositivo de regulación presenta un módulo de registro para registrar las magnitudes características eléctricas en la barra colectora. Éstas son especialmente tensiones y corrientes de la red en la barra colectora. Se pueden registrar aquí tensiones totales o corrientes totales o bien tensiones individuales y corrientes individuales para cada fase.

Asimismo, cada dispositivo de regulación presenta preferiblemente un módulo de cálculo para calcular las magnitudes características derivadas, especialmente la potencia activa y la potencia reactiva, así como la frecuencia y la tensión en bornes de salida, en base a las magnitudes eléctricas registradas. Estas magnitudes características derivadas pueden servir de base después para la regulación adicional.

Cada dispositivo de regulación presenta un módulo que está concebido para regular la tensión de salida del inversor pertinente en base a las magnitudes características y/o las magnitudes características derivadas. Esto permite que el dispositivo de regulación regule el inversor pertinente solamente en base a las magnitudes características registradas por este mismo inversor o a las magnitudes características derivadas de estas magnitudes características, de modo que el inversor pueda sincronizarse automáticamente con la red embarcada. Por tanto, no son necesarios dispositivos de regulación externos ni especialmente dispositivos de regulación de rango superior.

El módulo de regulación de cada dispositivo de regulación presenta un regulador primario en el que están archivadas curvas características estáticas para el inversor, en base a las cuales se obtienen en el módulo de regulación las magnitudes de guía para el regulador primario.

Las curvas características estáticas pueden ser especialmente un diagrama de tensión/potencia reactiva y/o un diagrama de frecuencia/potencia activa, a partir de los cuales se obtienen como magnitudes de guía, independientemente de las magnitudes características registradas y/o de las magnitudes características derivadas de éstas, la potencia reactiva y/o la potencia activa, que operan en calidad de magnitudes de guía para la regulación subsiguiente. La potencia activa sirve aquí para la regulación de la frecuencia y la potencia reactiva sirve para la regulación de la tensión. Las curvas características estáticas están fijamente asociadas a los inversores y cuidan de que los inversores de la red presenten un comportamiento determinado que se aproxime preferiblemente al de un generador síncrono. En particular, se eligen las curvas características de modo que éstas no sean constantes, sino que descendan en función de la carga, es decir que presenten un coeficiente de caída. Esta evolución dependiente de la carga de las curvas características permite que se encuentren o se regulen dos o más inversores en la misma red embarcada de modo que éstos puedan alimentar conjuntamente a la red embarcada en forma sincronizada.

Los reguladores primarios presentan preferiblemente un regulador de potencia reactiva y un regulador de potencia activa que, como se ha explicado, sirven para regular la frecuencia y la tensión en la salida del inversor.

A este fin, el módulo de regulación presenta preferiblemente un regulador de tensión de salida al que se alimentan como magnitudes de guía las magnitudes de regulación del regulador de potencia activa y el regulador de potencia activa, especialmente la frecuencia y la tensión. El regulador de tensión de salida ajusta entonces, en función de estas magnitudes de guía, las tensiones de salida y las frecuencias, preferiblemente para todas las fases.

Además, cada dispositivo de regulación está equipado con al menos un regulador secundario que, en base a las magnitudes características o a las magnitudes características derivadas de éstas, puede producir o realizar un desplazamiento paralelo de la curva característica estática almacenada en el regulador primario para conseguir valores nominales prefijados, especialmente de frecuencia y tensión a una potencia dada. Debido a la evolución anteriormente descrita dependiente de la carga de la curva característica se producen desviaciones de regulación. Para poder satisfacer las altas exigencias impuestas a la calidad de la red de submarinos, estas desviaciones de regulación debido a la evolución descendente de la curva característica estática deberán ser evitadas o minimizadas. Esto puede realizarse por medio de los reguladores secundarios, los cuales cuidan de que se desplacen las curvas características de modo que se mantengan la tensión nominal y la frecuencia nominal para la potencia que se presente en el momento considerado.

Cuando se emplean dos o más inversores con el dispositivo de regulación anteriormente descrito, se puede presentar el problema de que, debido a la regulación independiente, se produzca una distribución de carga asimétrica entre los distintos inversores, lo que no es deseable. Para evitar esto se equipan los reguladores secundarios con un dispositivo de simetrización para simetrizar la distribución de carga. En este caso, los dispositivos de simetrización están concebidos también de modo que trabajen para cada inversor con independencia de los dispositivos de simetrización de los demás inversores, es decir que no tenga lugar una comunicación directa o un control o regulación de rango superior de los inversores para la simetrización de la distribución de la carga.

El dispositivo de simetrización está configurado preferiblemente de tal manera que registre la relación de la potencia de salida del inversor pertinente a la potencia total en la barra colectora y registre variaciones de esta relación. Dependiendo de una variación de esta relación, el dispositivo de simetrización puede producir también un desplazamiento paralelo de la curva característica estática almacenada en el regulador primario para alcanzar los

valores nominales, especialmente de frecuencia y tensión a una potencia dada. Preferiblemente, los reguladores secundarios de los distintos inversores producen, debido a su regulación independiente, un movimiento de oscilación pendular entre simetrización y restablecimiento de la frecuencia nominal y la tensión nominal en la red embarcada, de modo que se puede conseguir en conjunto, debido a este movimiento de oscilación pendular, una frecuencia constante con una distribución simétrica de la carga en la red embarcada. Esto se efectúa de tal manera que, en caso de una variación de carga, un inversor cualquiera realiza primero una adaptación de su potencia para adaptar la potencia de salida a la carga modificada. De este modo, se restablece especialmente la frecuencia nominal en la red embarcada, lo que a su vez es registrado después por otro inversor como una variación de carga. Sin embargo, dado que se ha alcanzado ya la frecuencia nominal, en este inversor pasa entonces a ser activo el dispositivo de simetrización y éste proporciona una adaptación de potencia del segundo inversor. Ésta a su vez es percibida por el primer inversor como una variación de carga, de modo que éste realiza entonces a su vez una adaptación de potencia, con lo que ambos inversores pueden oscilar después pendularmente hacia una distribución simétrica de la carga a la frecuencia nominal. Este procedimiento funciona de manera correspondiente con más de dos inversores. Asimismo, incluso en caso de fallo de un inversor, los inversores restantes de la barra colectora se ajustan a una frecuencia constante y a una distribución de carga uniforme.

Cada dispositivo de regulación presenta preferiblemente dos reguladores secundarios, de los que uno sirve para la regulación de frecuencia y el otro para la regulación de tensión. Esto quiere decir que cada uno de los reguladores secundarios produce un desplazamiento paralelo de una de las curvas características estáticas en el regulador primario, es decir, la curva característica en el diagrama de tensión/potencia reactiva y la curva característica en el diagrama de frecuencia/potencia activa, las cuales indican, respectivamente, la evolución de la potencia reactiva en función de la tensión y la evolución de la potencia activa en función de la frecuencia.

Preferiblemente, cada dispositivo de regulación y especialmente cada regulador secundario y más preferiblemente su dispositivo de simetrización están equipados con un seguro contra sobrecarga que cuida de que se evite una sobrecarga prolongada de los inversores y que, en su caso, desconecta el inversor con antelación.

El suministro de corriente ampliamente exento de interrupciones es posibilitado también por un concepto de protección mejorado. El concepto de protección deberá asegurar en cualquier caso que no se produzca un fallo total de toda la red embarcada. Esto es preferible especialmente cuando una red embarcada común es alimentada por varios inversores, tal como se ha descrito anteriormente, es decir, que no están previstas varias barras colectoras separadas como en el estado de la técnica.

Preferiblemente, la red eléctrica embarcada está dividida en varias redes parciales que se conectan una a otra durante el funcionamiento normal y se hacen funcionar conjuntamente. En este caso, como se ha descrito antes, estas redes parciales pueden ser alimentadas en particular conjuntamente por varios inversores. Preferiblemente, en la red embarcada o en una barra colectora están dispuestos interruptores de potencia de tal manera que, por la apertura de estos interruptores de potencia, se puedan separar redes parciales respecto de la red embarcada común o bien se pueda dividir eventualmente la red embarcada en varias redes parciales para que, en caso de defecto en una zona parcial de la red embarcada, se pueda impedir el fallo total de la red embarcada.

Las distintas redes parciales están equipadas con sensores para registrar continuamente datos característicos actuales de las distintas redes parciales. Asimismo, los sensores y los interruptores de potencia están unidos con un dispositivo de control común de tal manera que algunos sensores e interruptores de potencia puedan comunicarse con el dispositivo de control y, en particular, el dispositivo de control común pueda conectar los interruptores de potencia. En este caso, el dispositivo de control está concebido de tal manera que los interruptores de potencia puedan ser conectados selectivamente por el dispositivo de control en función de los datos característicos actualmente registrados. Esto hace posible en que, en caso de se capten por los sensores unos datos característicos que permitan deducir la presencia de un cortocircuito en una zona parcial de la red embarcada, el dispositivo de control sea separado de la red embarcada por apertura del interruptor o los interruptores de potencia pertinentes de esta red parcial en la que se haya presentado el cortocircuito. Para hacer que el dispositivo de control y la comunicación entre los interruptores de potencia y los sensores sean lo más seguros posible frente a fallos, éstos pueden estar realizados en forma redundante de modo que, por ejemplo en caso de fallo del dispositivo de control, un segundo dispositivo de control pueda asumir inmediatamente su función.

Preferiblemente, los datos característicos de las distintas redes parciales que son registrados por los sensores comprenden las intensidades de corriente eléctrica en las distintas redes parciales. Así, es posible que el dispositivo de control reconozca si la intensidad de corriente en una red parcial alcanza un valor que permite deducir la presencia de un cortocircuito.

Según la invención, se prefiere especialmente que en el dispositivo de control esté archivada al menos una tabla en la que estén depositadas para el respectivo caso de cortocircuito en una de las redes parciales las respectivas intensidades de corriente de cortocircuito que se presentan en las distintas redes parciales y/o en los sensores correspondientes o bien las relaciones de estas intensidades una con respecto a otra. Esta tabla hace uso del conocimiento de que un cortocircuito en una zona parcial de la red embarcada o en una red parcial produce

usualmente no solo allí una variación de la corriente existente, sino que también produce una variación de la corriente en las demás zonas parciales de la red embarcada y en los sensores allí dispuestos, lo que está fundamentado solamente por la geometría de la red embarcada. Así, en los distintos puntos de medida o sensores se presentan especialmente múltiples diferentes de la intensidad de corriente de cortocircuito existente y signos diferentes de la corriente de cortocircuito, lo que puede ser registrado por los sensores allí dispuestos. En la tabla está depositado preferiblemente para cada caso de cortocircuito el estado existente de las corrientes en todos los sensores, de modo que, a partir de esta imagen depositada de las corrientes de cortocircuito existentes en los distintos sensores, se puede deducir recíprocamente con ayuda de la tabla en qué zona parcial de la red embarcada se ha presentado el cortocircuito. Preferiblemente, ocurre aquí que cada caso de cortocircuito presenta una imagen unívocamente ubicable de corrientes de cortocircuito en todos los sensores existentes, es decir que, ayudándose de esta imagen de las corrientes existentes, se puede identificar unívocamente un caso de cortocircuito determinado.

El dispositivo de control está concebido preferiblemente de una manera correspondiente tal que la localización del caso de cortocircuito, es decir, el reconocimiento de la red parcial en la que se ha presentado el cortocircuito, se efectúa asignando la combinación existente o la imagen de las corrientes de cortocircuito con ayuda de la tabla archivada, y seguidamente se puede conectar por el dispositivo de control el interruptor de potencia correspondiente que está asociado a esta red parcial para separar la red parcial en la que se ha localizado el caso de cortocircuito. Esto quiere decir que, dado que en el caso de cortocircuito se registran en todos los sensores las magnitudes y los signos de las corrientes de cortocircuito allí producidas, el dispositivo de control puede establecer por asignación con ayuda de la tabla el lugar en el que se ha presentado el cortocircuito en la red parcial y puede desconectar esta red parcial abriendo el interruptor de potencia correspondiente.

Además, se prefiere que en el dispositivo de control estén depositadas una o varias tablas parciales en las que estén depositadas para el respectivo caso de cortocircuito en una de las redes parciales las respectivas corrientes de cortocircuito que se presentan en las distintas redes parciales y/o en los sensores pertinentes o bien las relaciones de estas corrientes de cortocircuito entre ellas, para el caso de que estén abiertos uno o varios interruptores de potencia determinados. Estas tablas adicionales tienen en cuenta casos de cortocircuito que se presentan cuando ya se han separado redes parciales de la red embarcada por apertura de los interruptores de potencia pertinentes. En este caso, las corrientes de cortocircuito que se presentan en los distintos sensores pueden variar en magnitud y signo frente al caso en el que todos los interruptores de potencia están cerrados y todas las redes parciales están integradas en la red embarcada. Dado que es conocido para el dispositivo de control qué interruptores de potencia están conectados o abiertos, el dispositivo de control, al aparecer un caso de cortocircuito adicional después de la apertura de un interruptor de potencia determinado, pueda localizar entonces el lugar o la red parcial de este nuevo caso de cortocircuito con ayuda de la tabla adicional, que reproduce la imagen de las corrientes de cortocircuito en el estado abierto de un interruptor de potencia determinado o de varios interruptores de potencia determinados. A continuación, el dispositivo de control puede abrir entonces el interruptor de potencia de esta red parcial en la que se ha presentado el cortocircuito para separar esta red parcial de la red embarcada.

Esto quiere decir que el dispositivo de control está concebido preferiblemente de tal manera que, después de la conexión de un interruptor de potencia para separar una red parcial, se emplee para la localización subsiguiente de casos de cortocircuito una tabla modificada que tenga en cuenta el estado abierto del interruptor de potencia.

Se prefiere especialmente que los sensores estén integrados en los interruptores de potencia. Esto quiere decir que se trata de interruptores de potencia inteligentes que están simultáneamente en condiciones de poder registrar magnitudes de estado, especialmente la intensidad de corriente en la línea que ellos conectan, y de poder transmitir estas magnitudes a un dispositivo de control central. A este fin, los interruptores de potencia están equipados con una interfaz de comunicación correspondiente que, por un lado, transmite al dispositivo de control los datos característicos registrados por el sensor y, por otro lado, puede recibir del dispositivo de control órdenes de conexión que permitan una apertura y/o un cierre del interruptor de potencia.

El concepto de protección hace posible la localización exacta de defectos en la red embarcada y permite que se separen de la red embarcada las redes parciales en las que se han presentado defectos, sin que se interrumpa el suministro de corriente en la red embarcada restante. Gracias al control central de los interruptores de potencia de la manera descrita se consigue aquí una selectividad de los interruptores. De este modo, se garantiza un suministro de corriente casi exento de interrupciones. La interrupción del suministro de corriente está limitada idealmente al mínimo físicamente condicionado, es decir, al momento del cortocircuito.

A continuación, se describe la invención a título de ejemplo con ayuda de las figuras adjuntas. Muestran en éstas:

La figura 1, un esquema eléctrico de principio de una barra colectora común con tres inversores,

La figura 2, la estructura de regulación básica de un dispositivo de regulación de un inversor,

La figura 3, una estática de frecuencia/potencia activa,

La figura 4, el desplazamiento de la estática de frecuencia/potencia activa para restablecer la frecuencia,

La figura 5, la estructura de regulación básica para la simetrización,

La figura 6, en una tabla, la combinación de las corrientes de cortocircuito producidas durante el funcionamiento de la red embarcada según la figura 1,

5 La figura 7, en una tabla, la combinación de las corrientes de cortocircuito producidas al fallar onduladores individuales,

La figura 8, en una tabla, las corrientes de cortocircuito producidas al fallar interruptores individuales,

La figura 9, en una tabla, la combinación de corrientes producidas al fallar interruptores individuales después del disparo de los demás interruptores implicados en el proceso de conexión y

10 La figura 10, un diagrama de flujo de un programa para el sistema de protección de la red.

La figura 1 muestra esquemáticamente el funcionamiento en paralelo de tres onduladores en una red embarcada común. Los onduladores o inversores WR_1 , WR_2 y WR_3 convierten la tensión continua proporcionada por las baterías o una instalación de pila de combustible en una tensión alterna o una corriente trifásica. En aras de una mayor claridad, se representa aquí la versión monofásica. En funcionamiento normal, están cerrados los interruptores 4 y 5 de entre los interruptores 1, 2, 3, 4 y 5, de modo que se forma una barra colectora común 6. Asimismo, se piensa preferiblemente en hacer funcionar la instalación mostrada en la figura 1 de modo que, en funcionamiento normal, estén cerrados los interruptores 1 y 3, con lo que los inversores WR_1 y WR_3 alimentan conjuntamente a la red enbarcada. El interruptor 2 permanece abierto en el funcionamiento normal, de modo que el inversor WR_2 no está unido con la red y está disponible como inversor de reserva que se conecta en caso de fallo de uno de los demás inversores WR_1 o WR_3 . Con a a f se identifican los terminales de distintos consumidores conectados a la barra colectora 6. Mediante los interruptores 4 y 5 se divide la barra colectora 6 en tres tramos I, II y III o bien se puede dividir esta barra por apertura de los interruptores. En los interruptores 1 a 5 están dispuestos también unos puntos de medida para registrar la corriente en magnitud y dirección. A este fin, están previstos interruptores de potencia 1, 2, 3, 4 y 5 que pueden registrar al mismo tiempo estos valores y comunicarlos a un dispositivo de control central que es responsable también de la apertura y cierre de los interruptores 1 a 5. Los interruptores 1 a 5 están equipados para ello con módulos de comunicación correspondientes.

El funcionamiento en paralelo de dos inversores, por ejemplo los inversores WR_1 y WR_3 , en una barra colectora común 6 requiere una sincronización de la tensión de salida y la frecuencia. Según la invención, esto se efectúa por medio de dispositivos de regulación independientes que están integrados en los inversores, sin que sea necesario un control de rango superior o una comunicación directa entre los inversores. Además, los inversores tienen los mismos derechos en funcionamiento, es decir que no existen dependencias según el principio maestro/esclavo.

Los inversores WR_1 , WR_2 y WR_3 presentan dispositivos de regulación que registran automáticamente la red embarcada, es decir, especialmente la corriente y la tensión en la barra colectora 6, y regulan el rectificador pertinente WR_1 , WR_2 o WR_3 de modo que éste se sincronice automáticamente con la red.

La figura 2 muestra esquemáticamente el modo en que funciona en principio esta regulación. Como se ha explicado, se captan tensiones de la red y corrientes de la red por medio de los inversores y se calculan en un módulo de cálculo 8 del dispositivo de regulación, en base a estas magnitudes características, unas magnitudes características derivadas, concretamente la potencia activa y la potencia reactiva, así como la frecuencia y la tensión en bornes de salida, que sirven como magnitudes de guía para la regulación subsiguiente. Así, la frecuencia calculada sirve para regular la frecuencia a través del regulador de potencia activa 10 y la tensión calculada sirve para regular la tensión a través del regulador de potencia reactiva 12. El regulador de potencia activa 10 y el regulador de potencia reactiva 12 son parte de un regulador primario 9. Esta regulación primaria tiene en cuenta curvas características estáticas que están fijamente predefinidas para el inversor y que se encuentran almacenadas en una memoria del dispositivo de regulación. Éstas son una curva característica de tensión/potencia reactiva (estática $Q(U_N)$) que se emplea para la regulación de la tensión, así como una curva característica de frecuencia/potencia activa (estática $P(f)$) que se emplea para la regulación de la frecuencia.

En la figura 3 se representa a título de ejemplo la evolución de la estática de frecuencia/potencia activa. La evolución de la estática de tensión/potencia reactiva es análoga. Es importante el que se trata aquí de curvas características dependientes de la carga. Esto quiere decir que la curva característica no es una constante, es decir, una línea horizontal en el diagrama, sino que más bien tiene lugar una caída de tensión o de frecuencia al aumentar la carga. Esta configuración de las curvas características con coeficientes de caída hace posible, en primer lugar, que se encuentren en la red dos inversores con dispositivos de regulación idénticos de modo que puedan alimentar conjuntamente a la red en forma sincronizada. Las estáticas establecidas imponen al regulador de corriente el comportamiento de un generador síncrono regulado.

A continuación, se explica a título de ejemplo la regulación, considerándose, por simplificación, solamente una fase.

En el caso de partida, la tensión en la red posee la frecuencia f_1 y la amplitud U_1 . Las potencias pertinentes en la red son P_1 y Q_1 (potencia activa y potencia reactiva). Al conectar otra carga se modifican las corrientes y se incrementan las potencias hasta P_2 y Q_2 , pero la amplitud de tensión permanece de momento en U_1 y la frecuencia permanece en f_1 , ya que el ondulator o inversor no puede provocar el mismo ninguna variación de estas magnitudes. Éste suministra una tensión de salida constante con frecuencia constante. Esta variación es hecha posible únicamente por las estáticas prefijadas, la estática $P(f)$ y la estática $Q(U_n)$. Gracias a las estáticas se siguen obteniendo P_1 y Q_1 como magnitudes de regulación para el regulador de potencia activa 10 y para el regulador de potencia reactiva 12. Las magnitudes de regulación se han modificado a P_2 y Q_2 (medido en la red, es decir, en la barra colectora 6). Se origina así una diferencia de regulación que es compensada ahora por el regulador. Los reguladores de potencia, es decir, el regulador de potencia activa 10 y el regulador de potencia reactiva 12, generan nuevos valores para U_q^* y θ^* ($\mathcal{G}^*$). Éstos forman las magnitudes de regulación para los reguladores de tensión de salida 14 de los ondulatores, que, en base a ellas, ajustan las nuevas tensiones de salida del inversor $U_{nom,1}$, $U_{nom,2}$ y $U_{nom,3}$, en el caso de una red de corriente trifásica. La variación de frecuencia se deduce de la variación temporal del ángulo θ^* . Se modifica la tensión en la red, la amplitud pasa a ser U_2 y la frecuencia pasa a ser f_2 .

Debido a la evolución descendente de las estáticas, esto conduce a que esta frecuencia y esta amplitud ya no correspondan a los valores nominales rígidos deseados de la red, sino que, por el contrario, se producen desviaciones a consecuencia de las estáticas. Para compensar éstas y poder proporcionar una calidad constantemente alta de la red se ha previsto, además de la regulación primaria, una regulación secundaria. Como se representa en la figura 2, se han previsto dos regulaciones secundarias, es decir, dos reguladores secundarios 16, 18 para la regulación secundaria de la frecuencia (regulación secundaria de f) y para la regulación secundaria de la tensión (regulación secundaria de U). Estas regulaciones secundarias producen un desplazamiento de las estáticas archivadas en el regulador primario, es decir, la estática $P(f)$ y la estática $Q(U_n)$. Esto se muestra a título de ejemplo con ayuda de la estática $P(f)$ en la figura 4. El desplazamiento de la estática $Q(U_n)$ se efectúa de manera correspondiente. Este desplazamiento hace que las curvas características sean desplazadas nuevamente hacia los valores nominales, con lo que, a una carga dada en la red, se pueden mantener la frecuencia prefijada y la tensión prefijada. Este restablecimiento se efectúa en los reguladores secundarios 16 y 18 por medio de un módulo de restablecimiento.

El desplazamiento de la estática realizado por un regulador secundario de un inversor es interpretado como un salto de potencia por los otros inversores conectados a la red, lo que a su vez conduce a un desplazamiento de carga asimétrico. Por este motivo, la regulación secundaria en los reguladores secundarios 16 y 18 presenta, además, un respectivo módulo de simetrización que sirve para conseguir en la red una distribución de carga simétrica entre los inversores implicados. Es de hacer notar a este respecto que esta simetrización se efectúa también sin comunicación directa ni control de rango superior entre los inversores.

Para poder poner en marcha la simetrización incluso en intervalos de tiempo en los que no se presentan cambios de carga en la red, se ha previsto en los reguladores secundarios 16 y 18 un respectivo módulo de "prueba". Éste produce un desplazamiento de $f_{0,T}$ en la estática $P(f)$ o de $U_{n0,T}$ en la estática $Q(U_n)$. El restablecimiento de la frecuencia o la tensión es iniciado por el módulo de restablecimiento. La simetrización es efectuada entonces por el módulo de simetrización, cuya estructura de regulación básica se representa en la figura 5.

Cuando se hacen funcionar dos inversores idénticos, por ejemplo los inversores WR_1 y WR_3 , sobre una barra colectora común 6, se tiene que al principio la frecuencia inicial es, por ejemplo, f_0 y la potencia activa es P_0 . Si se aumenta ahora la carga hasta P_1 , se produce entonces un descenso de la frecuencia hasta f_1 . Si ahora, por ejemplo, reacciona primeramente el dispositivo de regulación del primer inversor WR_1 y restablece la frecuencia f_0 , el segundo inversor WR_3 interpretará esta variación de frecuencia como una variación de carga y disminuirá correspondientemente su entrega de potencia. Esto conduce entonces a la distribución de carga asimétrica ya mencionada anteriormente. Para compensar ésta se elige durante la simetrización el valor P_{nomS} como igual a 0. Debido al aumento de carga en la red la relación P/P_N de la carga total a la carga individual del inversor se hace mayor y, recíprocamente, el valor f_{0S} se hace más pequeño (cuantitativamente mayor, pero intervalo negativo). La frecuencia que ya ha sido regulada por WR_1 conduce al valor $f_{0,w} = 0$, es decir que f_0 está ya aplicada en la red. No obstante, debido a la simetrización, WR_3 disminuirá ahora su frecuencia para volver a incrementar su potencia. La potencia reducida conduce entonces en WR_1 a un aumento de la potencia en solamente en una medida más pequeña que en WR_2 . Por tanto, el desarrollo tiene como consecuencia un nuevo restablecimiento de la frecuencia. Se produce una oscilación pendular entre simetrización y restablecimiento, oscilando ambos pendularmente hasta que casi se hayan ajustado la frecuencia nominal y la potencia nominal para una distribución de carga simétrica. En el funcionamiento en paralelo de dos inversores WR_1 y WR_3 una variación de un ondulator conduce así siempre también a una variación del otro ondulator, efectuándose esto únicamente mediante una vigilancia directa de la red por el dispositivo de regulación de cada inversor posiblemente dicho.

Así, los distintos inversores detectarán también el fallo de otro inversor con ayuda de las variaciones de las magnitudes características en la red, es decir, en la barra colectora 6, y regularán de manera correspondiente su

tensión de salida según amplitud y frecuencia para conservar la tensión nominal y la frecuencia nominal en la red.

A continuación, se explica también con ayuda del circuito de la figura 1 un concepto de protección para la securización de la red según la invención, que puede asegurar un suministro de corriente casi sin interrupción, especialmente durante el funcionamiento en paralelo explicado de dos o más inversores en una barra colectora. A este fin, los interruptores de potencia 1 a 5 están equipados con transductores de medida o sensores que registran la corriente en el sitio de conexión y la retransmiten a un dispositivo de control central no mostrado. Éste realiza una evaluación que puede reconocer y localizar defectos, es decir, cortocircuitos en la red, y a continuación puede abrir deliberadamente algunos de los interruptores 1 a 5 para poder separar partes de la red o redes parciales afectadas de cortocircuito. Gracias a este concepto se asegura la selectividad de los órganos de protección en la red total.

El concepto de protección se basa en el conocimiento de que un defecto en la red, es decir, un cortocircuito, puede ser reconocido y localizado por una combinación determinada de las corrientes de cortocircuito en los distintos sitios de medida. Dado que los sitios de medida están integrados aquí en los interruptores de potencia, tales sitios de medida están ubicados en los emplazamientos de los interruptores de potencia. Sin embargo, pueden preverse también sensores o transductores de medida separados en otros sitios. El dispositivo de control central consulta permanentemente los valores de corriente obtenidos en los puntos de medida de los interruptores 1 a 5 y evalúa estos valores. A este fin, los valores de medida pueden ser retransmitidos al dispositivo de control central por interruptores de potencia comunicantes, por ejemplo a través de un sistema de bus. Sin embargo, se pueden emplear también otras vías de comunicación convencionalmente disponibles entre los interruptores de potencia y el dispositivo de control.

La figura 6 muestra la combinación de corrientes de cortocircuito producidas en la disposición de circuito según la figura 1, en donde están conectados durante el funcionamiento normal los interruptores 1, 3, 4 y 5, es decir que los tramos I, II y III están conectados uno a otro formando una barra colectora común 6 y están en funcionamiento los inversores WR_1 y WR_3 . El inversor WR_2 se mantiene como inversor de reservar para poder asumir la función de uno de los demás inversores en caso de fallo del mismo. En la tabla de la figura 6 los lugares de medida en los interruptores 1 a 5 están registrados en las filas y los lugares de cortocircuito en los sitios A, B y C, lo que corresponde a los inversores WR_1 , WR_2 y WR_3 , así como en las ramas I, II y III de la barra colectora 6, están registrados en las columnas. En la matriz resultante las corrientes de cortocircuito producidas están registradas en relación una con otra con su signo, pudiendo deducirse de las flechas de la figura 1 la definición de la dirección de la corriente.

Dado que el inversor WR_2 ha sido desconectado por apertura del interruptor 2, en la rama B no se presentan en absoluto corrientes de cortocircuito.

Se puede apreciar que, según dónde se presente el cortocircuito, en el inversor WR_1 , es decir, en A, en el inversor WR_3 , es decir, en C, o en los tramos I, II o III de la barra colectora 6, se presentan distribuciones o combinaciones diferentes de corrientes de cortocircuito en los sitios de medida 1 a 5. La combinación de cortocircuitos en cada caso de cortocircuito representa una imagen determinada de la distribución de la corriente de cortocircuito, que se asigna unívocamente a un caso de cortocircuito. Así, a partir de las corrientes medidas en los sitios de medida 1 a 5 se puede determinar unívocamente por parte del dispositivo de control el lugar en donde se ha presentado el cortocircuito.

Por consiguiente, se puede abrir entonces el interruptor adecuado. Por ejemplo, en caso de un cortocircuito en el inversor WR_1 , es decir, en el lugar A, se determina en el sitio de medida 1 una corriente de cortocircuito negativa, no se determina en absoluto ninguna corriente de cortocircuito en el sitio de medida 2, se determina en el sitio de medida 3 una corriente de cortocircuito positiva y se determina en los sitios de medida 4 y 5 la respectiva corriente de cortocircuito sencilla negativa. Para eliminar este caso de cortocircuito se tiene que abrir el interruptor 1. En la tabla de la figura 6 se han identificado por x los interruptores que tienen que abrirse para desconectar la parte de la red con cortocircuito. En caso de que se presente un cortocircuito en el tramo II de la barra colectora, se tienen que abrir, por ejemplo, los interruptores 4 y 5.

La tabla, tal como ésta se representa en la figura 6, se archiva en el dispositivo de control central y éste compara las corrientes medidas en los sitios de medida 1 a 5 con la tabla. Si se produce una combinación de corrientes que está indicada en la tabla, el dispositivo de control localiza de esta manera un cortocircuito en un sitio determinado e induce el disparo de los interruptores necesarios para separar las partes de la red correspondientemente afectadas de cortocircuito. Estos interruptores se han identificado con x en la figura 6.

La tabla mostrada en la figura 6 concierne al caso en el que los inversores WR_1 y WR_3 están en funcionamiento. Por consiguiente, pueden estar archivadas tablas adicionales para el caso de que estén en funcionamiento otras combinaciones de inversores, siendo conocido para el dispositivo de control, ya que éste abre y cierra los interruptores, qué inversores están en la red, y así dicho dispositivo puede acceder a la tabla correcta. Asimismo, se pueden confeccionar también matrices o tablas semejantes a la de la figura 6 para fallos de onduladores, interruptores defectuosos o interruptores que no se disparan. Tales tablas están representadas en las figuras 7 a 9.

Así, en la figura 7 se incluye un listado de qué corrientes de cortocircuito se presentan en los sitios de medida 1 a 5 en caso de que falle uno de los onduladores WR_1 , WR_2 o WR_3 (ondulador 1, ondulador 2 y ondulador 3). También aquí se tienen que abrir nuevamente, para eliminar el defecto, los interruptores identificados con x, dependiendo del lugar en que se presente el cortocircuito.

- 5 La figura 8 muestra una tabla que tiene en cuenta el caso de que uno de los interruptores 1 a 4 esté defectuoso, estando representados en la tabla de la figura 8 los cinco casos, es decir, interruptor 1 defectuoso, interruptor 2 defectuoso, interruptor 3 defectuoso, interruptor 4 defectuoso o interruptor 5 defectuoso. Se parte aquí también nuevamente de la consideración de que únicamente los inversores WR_1 y WR_3 están en funcionamiento y que el inversor WR_2 , actuante como inversor de reserva, se ha desconectado por apertura del interruptor 2. En la tabla
10 según la figura 8 se han identificado también con x los interruptores que deben abrirse para el caso de cortocircuito particular con el fin de separar la red parcial correspondiente. Además, se han identificado con y los interruptores que deben abrirse en caso de que uno de los interruptores que verdaderamente tendría que dispararse esté defectuoso. Este problema se presenta, por ejemplo, cuando se produce una corriente de cortocircuito en el ondulador WR_3 y el interruptor 3 está defectuoso. En realidad, se tendría que abrir el interruptor 3 para desconectar el inversor WR_3 . Como puede apreciarse en la tabla de la figura 8 en la matriz superior derecha, se abre entonces
15 alternativamente el interruptor 5 para separar de la barra colectora 6 una zona parcial mayor que está unida con el inversor WR_3 . Se mantiene entonces solamente una red parcial. Sin embargo, se evita un fallo total.

La figura 9 muestra la combinación de corrientes de cortocircuito para el caso del fallo de un interruptor después del disparo de los demás interruptores implicados en el proceso de conexión.

- 20 La figura 10 muestra esquemáticamente un desarrollo de programa adecuado en el dispositivo de control. Se comienza con la medición continua de las corrientes en los sitios de medida de los interruptores de potencia, los sitios 1 a 5 en la figura 1. Si se obtiene una imagen determinada de corrientes de cortocircuito según la tabla de la figura 6, se establece en un primer paso qué interruptor tiene que ser abierto para desconectar la parte de la red con el cortocircuito, tal como se explica con ayuda de la figura 6. Esto se efectúa en el paso S1; a continuación, se
25 realiza una nueva medición de las corrientes y si se sigue detectando entonces un cortocircuito, se tiene en cuenta una tabla nueva en la que se ha tenido en cuenta el interruptor ya abierto. Con ayuda de esta tabla nueva se establece nuevamente qué interruptor tiene que ser abierto. Esto se efectúa en el paso S2, teniendo que abrirse el interruptor correspondiente con cierto retardo de tiempo. A continuación, se realiza una nueva medición de las corrientes. Si sigue existiendo un caso de defecto, se tiene que decidir al final del proceso sobre una desconexión del sistema. Si se detecta al medir las corrientes que éstas están situadas nuevamente por debajo de la corriente de cortocircuito, el desarrollo del programa comienza de nuevo desde el principio. Si se detecta al comienzo de la medición de las corrientes que una de las corrientes es 0, es decir que ha fallado un ondulador o un interruptor, se
30 recurre en el paso S1b a una tabla correspondientemente modificada que tiene en cuenta el interruptor u ondulador defectuoso y que contiene imágenes correspondientes de las corrientes de cortocircuito o la distribución correspondiente de las corrientes de cortocircuito. Con ayuda de esta tabla se vigila si se presenta un cortocircuito y, en caso de un cortocircuito, se localiza este cortocircuito y se selecciona el interruptor que se debe abrir. Seguidamente, se efectúa una nueva medición de las corrientes y, en caso de que siga existiendo el cortocircuito, se realiza en el paso S2b una nueva vigilancia, en correspondencia con el paso S2, con ayuda de una nueva tabla modificada.
- 40 Aun cuando en la descripción anterior se ha descrito un ejemplo de realización ayudándose de una red con tres inversores y un total de cinco interruptores de potencia, cabe entender que se pueden hacer funcionar aquí también redes con más o menos de tres inversores según el procedimiento descrito o en la disposición descrita. En redes más complejas se pueden prever también más de cinco interruptores, funcionando el concepto de protección de la red de conformidad con la descripción anterior con tablas correspondientemente más complejas.

45 **Lista de símbolos de referencia**

- | | |
|--------------------------|--------------------------------|
| 6 | Barra colectora |
| 8 | Módulo de cálculo |
| 9 | Regulador primario |
| 10 | Regulador de potencia activa |
| 50 12 | Regulador de potencia reactiva |
| 14 | Regulador de tensión de salida |
| 16, 18 | Regulador secundario |
| WR_1 , WR_2 , WR_3 | Inversor |

REIVINDICACIONES

1. Submarino con una red eléctrica embarcada que presenta al menos dos inversores (WR1, WR2, WR3) que alimentan a una barra colectora común (6), en donde cada uno de los al menos dos inversores (WR1, WR2, WR3) está equipado con un dispositivo de regulación independiente que está concebido para registrar magnitudes características eléctricas actuales en la barra colectora (6) y presenta un módulo de regulación que está concebido para regular la tensión de salida en base a las magnitudes características y/o a magnitudes características derivadas, en donde el módulo de regulación presenta un regulador primario (9) en el que están archivadas curvas características estáticas para el inversor (WR1, WR2, WR3), en base a las cuales se obtienen las magnitudes de guía para el regulador primario, y cada dispositivo de regulación está equipado con al menos un regulador secundario (16, 18) que, en base a las magnitudes características o a las magnitudes características derivadas, realiza un desplazamiento paralelo de una curva característica estática almacenada en el regulador primario (9) para alcanzar los valores nominales, en particular de frecuencia y tensión a una potencia dada, y en donde el regulador secundario está equipado con un dispositivo de simetrización para simetrizar la distribución de carga.
2. Submarino según la reivindicación 1, en el que cada dispositivo de regulación presenta un módulo de registro para registrar las magnitudes características eléctricas, especialmente las tensiones y corrientes de la red en la barra colectora (6).
3. Submarino según la reivindicación 1 ó 2, en el que cada dispositivo de regulación presenta un módulo de cálculo (8) para calcular magnitudes características derivadas, especialmente la potencia activa y la potencia reactiva, así como la frecuencia y la tensión en bornes de salida, en base a las magnitudes características eléctricas registradas.
4. Submarino según la cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las curvas características estáticas presentan un diagrama de tensión/potencia reactiva y/o un diagrama de frecuencia/potencia activa, a partir de los cuales se obtienen la potencia reactiva y/o la potencia activa como magnitudes de guía en función de las magnitudes características registradas y/o las magnitudes características derivadas.
5. Submarino según la reivindicación 4, en el que el regulador primario (9) presenta un regulador de potencia reactiva (12) y un regulador de potencia activa (10).
6. Submarino según la reivindicación 5, en el que el módulo de regulación presenta un regulador de tensión de salida (14) al que se alimentan como magnitudes de guía las magnitudes de regulación del regulador de potencia reactiva (12) y del regulador de potencia activa (10), especialmente la frecuencia y la tensión.
7. Submarino según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el dispositivo de simetrización registra la relación de la potencia de salida del inversor pertinente (WR1, WR2, WR3) a la potencia total en la barra colectora (6) y, en función de una variación de esta relación, realiza un desplazamiento paralelo de una curva característica estática almacenada en el regulador primario (9) para alcanzar los valores nominales, especialmente de frecuencia y tensión a una potencia dada.
8. Submarino según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que están previstos en el dispositivo de regulación dos reguladores secundarios (16, 18), de los cuales uno sirve para la regulación de la frecuencia y el otro para la regulación de la tensión.
9. Submarino según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, con una red eléctrica embarcada que está dividida en varias redes parciales (A, B, C, I, II, III) que están protegidas cada una de ellas por medio de al menos un interruptor de potencia (1, 2, 3, 4, 5), en donde las distintas redes parciales (A, B, C, I, II, III) están equipadas con sensores (1, 2, 3, 4, 5) para registrar datos característicos de las distintas redes parciales (A, B, C, I, II, III), los sensores y los interruptores de potencia (1, 2, 3, 4, 5) se comunican con un dispositivo de control común y los interruptores de potencia (1, 2, 3, 4, 5) pueden ser conectados selectivamente por el dispositivo de control en función de los datos característicos actualmente registrados.
10. Submarino según la reivindicación 9, en el que los datos característicos de las distintas redes parciales (A, B, C, I, II, III) comprenden las corrientes eléctricas en las distintas redes parciales.
11. Submarino según la reivindicación 9 ó 10, en el que está archivada en el dispositivo de control al menos una tabla en la que están archivadas para el respectivo caso de cortocircuito en una de las redes parciales (A, B, C, I, II, III) las respectivas corrientes de cortocircuito que se presentan en las distintas redes parciales (A, B, C, I, II, III) y/o en los sensores pertinentes (1, 2, 3, 4, 5) o bien las relaciones de estas corrientes de cortocircuito una con respecto a otra.
12. Submarino según la reivindicación 11, en el que el dispositivo de control está concebido de tal manera que la localización del caso de cortocircuito se efectúa por asignación de la combinación producida de corrientes de cortocircuito con ayuda de la tabla archivada y a continuación se puede conectar por el dispositivo de control el interruptor de potencia correspondiente (1, 2, 3, 4, 5) para separar la red parcial (A, B, C, I, II, III) en la que se ha

localizado el caso de cortocircuito.

- 5 13. Submarino según la reivindicación 11 ó 12, en el que están archivadas en el dispositivo de control una o varias tablas en las que están archivadas para el respectivo caso de cortocircuito en una de las redes parciales (A, B, C, I, II, III) las respectivas corrientes de cortocircuito producidas en las distintas redes parciales (A, B, C, I, II, III) y/o en los sensores pertinentes, o bien la relación de estas corrientes de cortocircuito una con respecto a otra, para el caso en que estén abiertos uno o varios interruptores de potencia determinados (1, 2, 3, 4, 5).
- 10 14. Submarino según la reivindicación 13, en el que el dispositivo de control está concebido de tal manera que, después de la conmutación de un interruptor de potencia (1, 2, 3, 4, 5) para separar una red parcial (A, B, C, I, II, III), se emplea para localizaciones subsiguientes de casos de cortocircuito una tabla pertinente que tiene en cuenta el estado abierto del interruptor de potencia.
15. Submarino según cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en el que los sensores están integrados en los interruptores de potencia (1, 2, 3, 4, 5).

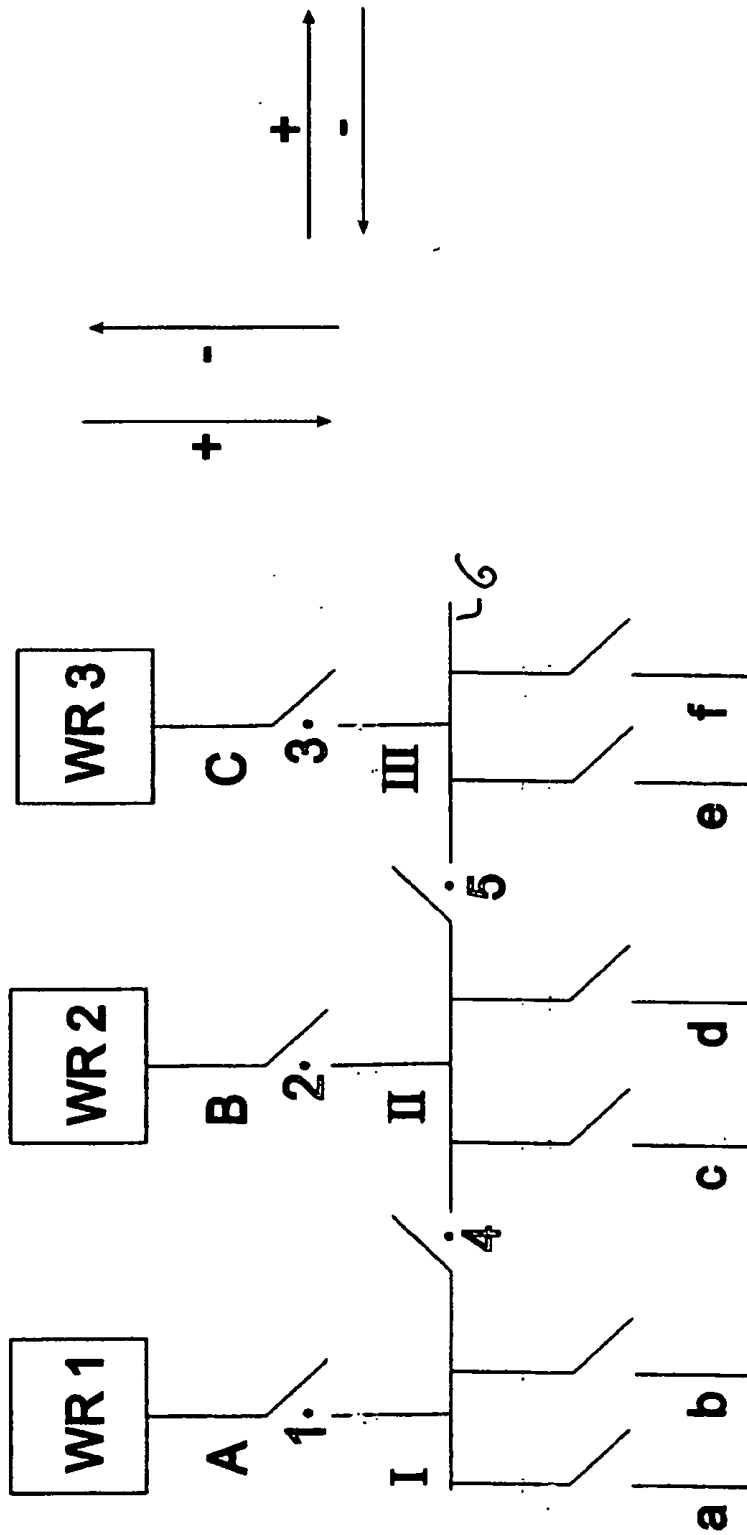


Fig. 1

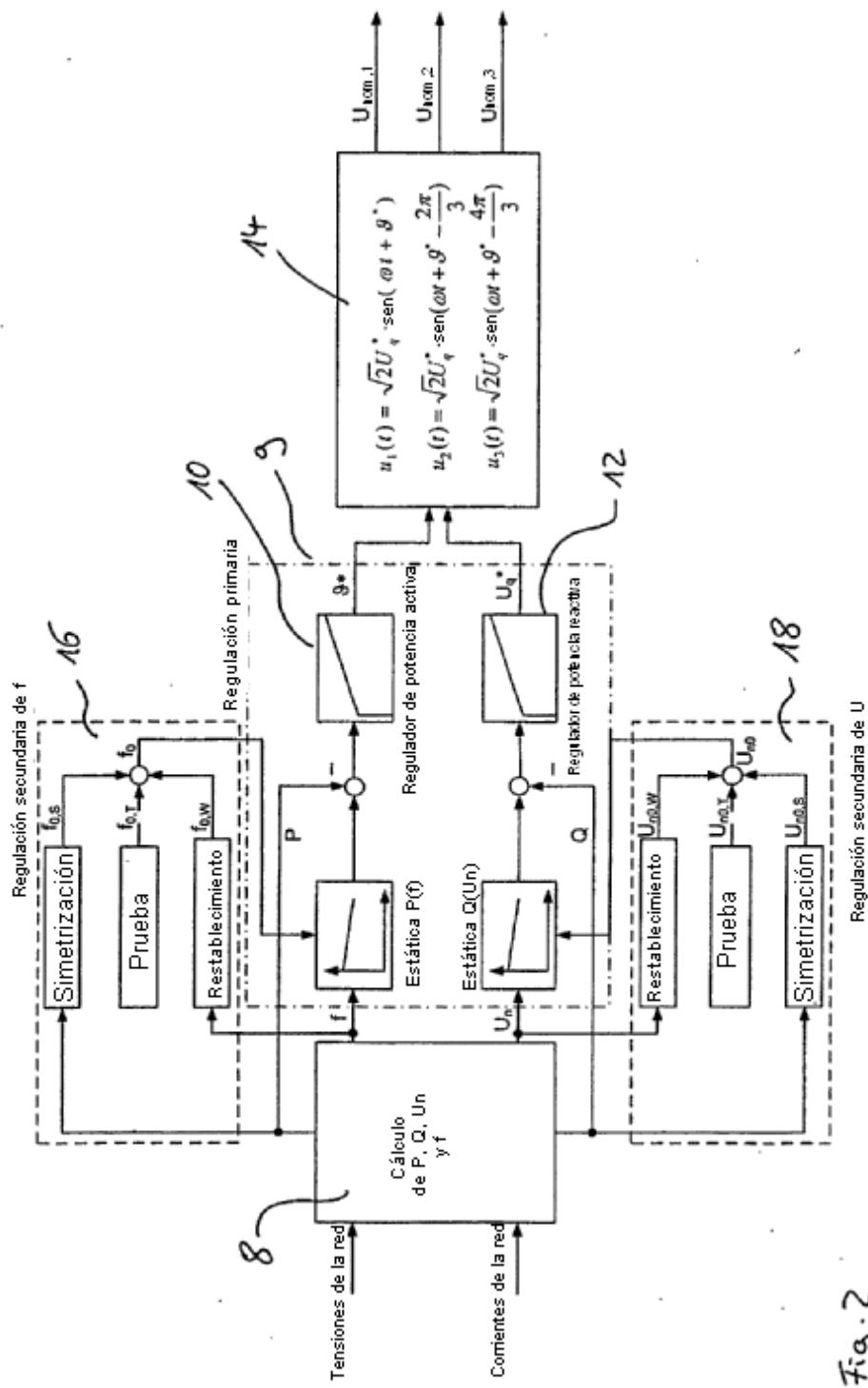


Fig. 2

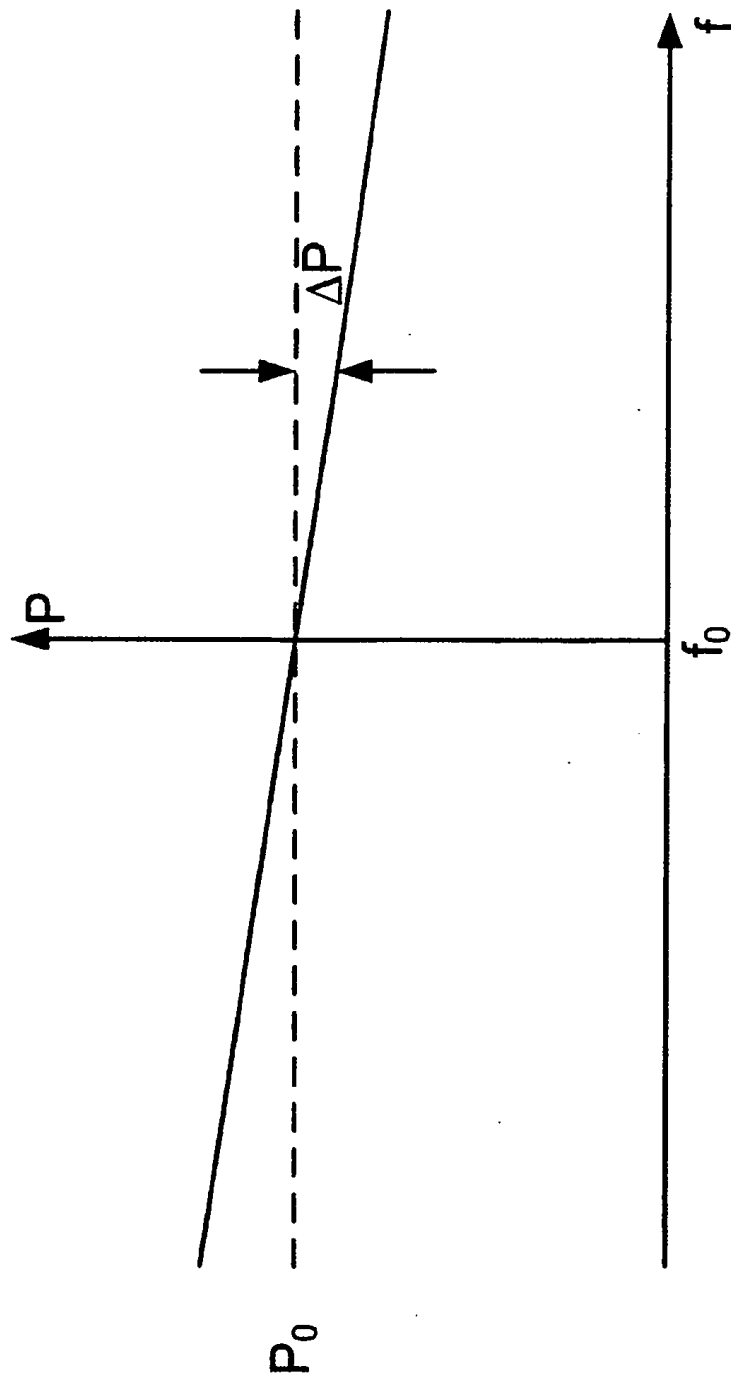


Fig. 3

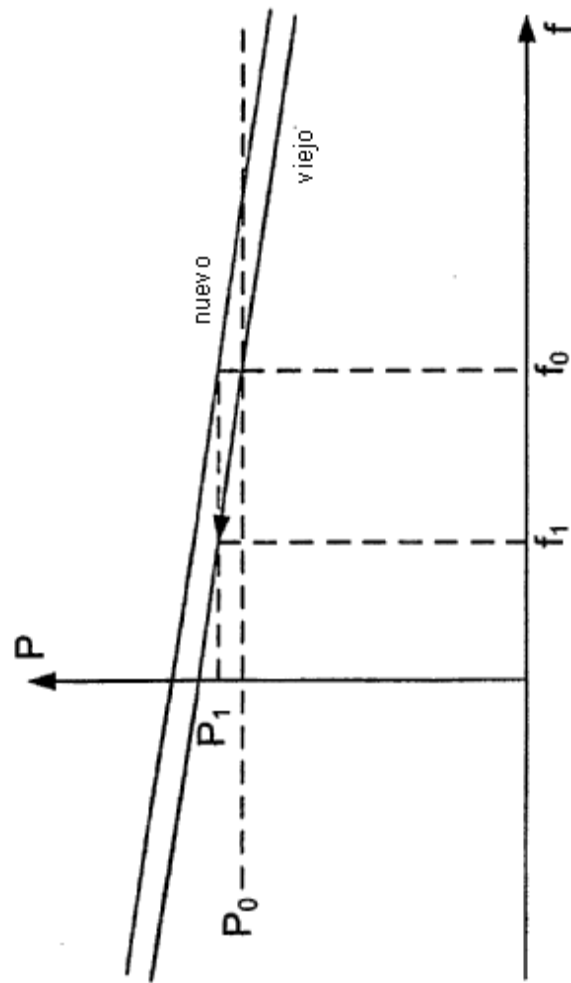


Fig. 4

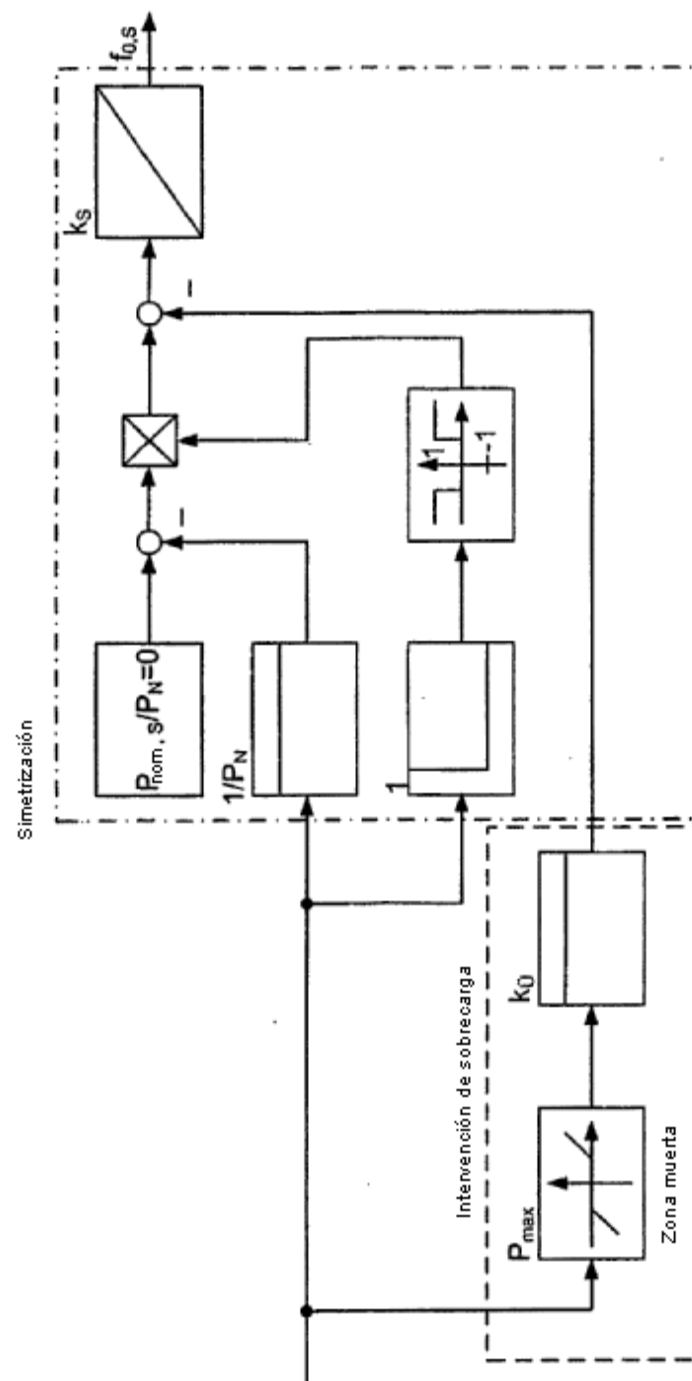


Fig. 5

Lugares de medida	1	2	3	4	5
Lugares de cortocircuito					
A	-1 x	0	1	-1	-1
B	-	-	-	-	-
C	1	0	-1 x	1	1
I	1 x	0	1	-1 x	-1
II	1	0	1	1 x	-1 x
III	1	0	1 x	1	1 x

Fig. 6

	Ondulador 1 fallado					Ondulador 2 fallado					Ondulador 3 fallado				
Lugares de medida	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Lugares de cortocircuito															
A	-2 x	1	1	-2	-1	-2 x	0	1	-1	-1	-2 x	1	0	-1	0
B	0	-1 x	1	0	-1	1	-2 x	1	1	-1	1	-1 x	0	1	0
C	0	1	-1 x	0	1	1	0	-1 x	1	1	1	1	-2 x	-1	-1
I	0	1	1	-2 x	-1	1 x	0	1	-1 x	-1	1 x	1	0	-1 x	0
II	0	1 x	1	0	-1 x	1	0	1	1 x	-1 x	1	1 x	0	1 x	0
III	0	1	1 x	0	1 x	1	0	1 x	1	1 x	1	1	0	1	2 x

Fig. 7

		Interruptor 1 defectuoso					Interruptor 2 defectuoso					Interruptor 3 defectuoso				
Lugares de medida		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Corrientes de cortocircuito																
A		-1 x	0	1	-1 y	-1	-1 x	0	1	-1	-1	-1 x	0	1	-1	-1
B		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C		1	0	-1 x	1	1	1	0	-1 x	1	1	1	0	-1 x	1	1 y
I		1 x	0	1	-1 x	-1	1 x	0	1	-1 x	-1	1 x	0	1	-1 x	-1
II		1	0 x	1	1 x	-1 x	1	0 x	1	1 x	-1 x	1	0 x	1	1 x	-1 x
III		1	0	1 x	1	1 x	1	0	1 x	1	1 x	1	0	1 x	1	1 x

	Interruptor 4 defectuoso					Interruptor 5 defectuoso				
Lugares de medida	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Corrientes de cortocircuito										
A	-1 x	0	1	-1	-1	-1 x	0	1	-1	-1
B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	1	0	-1 x	1	1	1	0	-1 x	1	1
I	1 x	0 y	1	-1 x	-1 y	1 x	0	1	-1 x	-1
II	1 y	0 x	1	1 x	-1 x	1	0 x	1 y	1 x	-1 x
III	1	0	1 x	1	1 x	1	0 y	1 x	1 y	1 x

Fig 8

	Interruptor 4 defectuoso					Interruptor 5				
Lugares de medida	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Lugares de cortocircuito										
I	0	0 y	1	-1 x	-1 y	sin problema				
II	1 y	0	<1	1 x	0	1 <	0	1 y	0	-1
III	sin problema					1	0 y	0	1 y	-1 x

Fig. 9

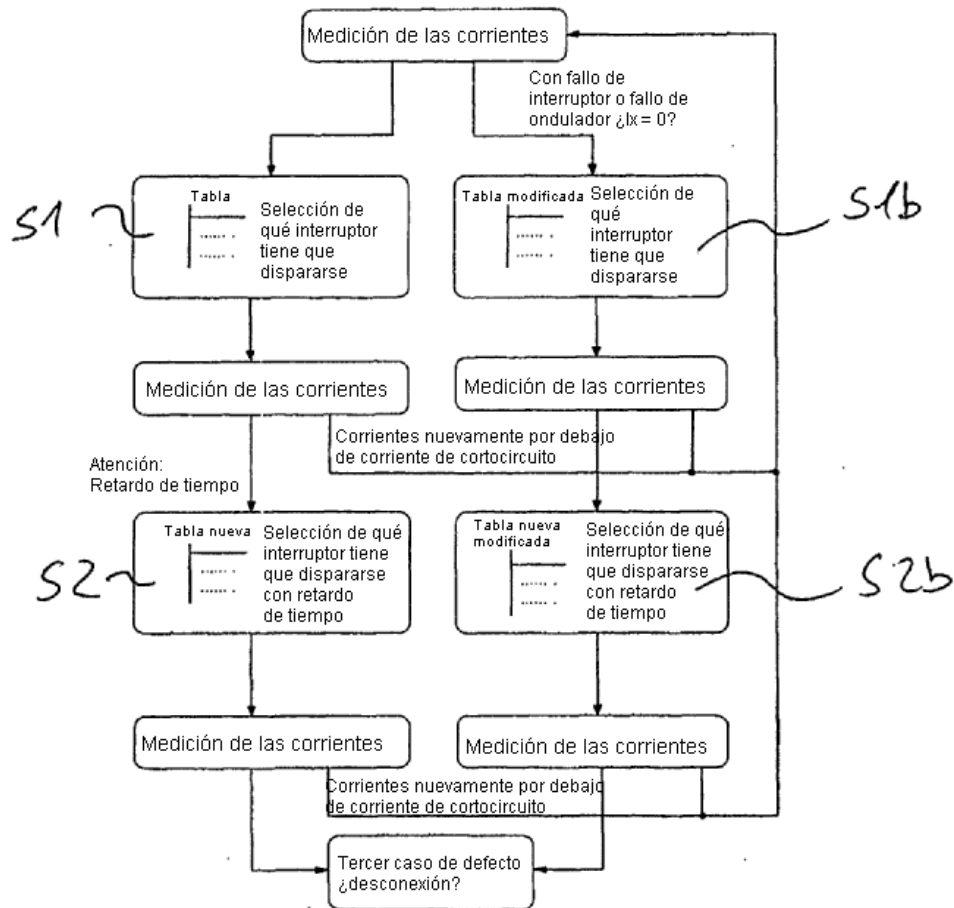


Fig. 10