

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 687 796**

51 Int. Cl.:

H02J 3/18 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

F03D 9/00 (2006.01)

H02P 9/42 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **16.12.2009** **PCT/NO2009/000436**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.07.2010** **WO10077145**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.12.2009** **E 09836438 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.07.2018** **EP 2374192**

54 Título: **Método para operar una máquina síncrona de imanes permanentes y dispositivo de un sistema eléctrico que comprende dicha máquina**

30 Prioridad:

19.12.2008 NO 20085321

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

29.10.2018

73 Titular/es:

ROLLS-ROYCE MARINE AS (100.0%)
Borgundveien 340
6009 Ålesund, NO

72 Inventor/es:

ÖVERBÖ, SIGURD;
MATVEEV, ALEXEY y
SKJELLNES, TORE

74 Agente/Representante:

DURÁN BENEJAM, María Del Carmen

ES 2 687 796 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

Método para operar una máquina síncrona de imanes permanentes y dispositivo de un sistema eléctrico que comprende dicha máquina

La invención comprende un método para operar una máquina síncrona de imanes permanentes como se establece en la parte introductoria de la reivindicación 1 y un dispositivo como se establece en la parte introductoria de la reivindicación 6, de un sistema eléctrico que comprende una o más de dichas máquinas.

Antecedentes

Las propuestas actuales para la alimentación y el control de las máquinas eléctricas están dominadas por la alimentación trifásica. La conexión puede ser directa o mediante un convertidor. En algunos casos, el rotor se alimenta mediante anillos colectores y un convertidor.

Los sistemas habituales de la técnica anterior con máquinas sincrónicas alimentadas en campo (Electric Machines, Theory, Operation, Applications, Adjustment, and Control, Charles I Hubert. ISBN 0-675-21136-0, páginas 305 - 308) tienen una frecuencia de red fija. En tales sistemas, puede controlarse la potencia activa y la potencia reactiva. En los sistemas de generador, la potencia se controla controlando la energía suministrada (viento, agua, gas, vapor, etc.). La potencia reactiva se controla controlando la corriente del devanado de campo. A una magnetización excesiva, la potencia reactiva se alimenta al sistema, que normalmente aumenta la tensión (siempre que el ángulo de carga sea inductivo). A una magnetización demasiado baja, la potencia reactiva de la red, con un ángulo de carga inductivo, la tensión disminuirá. En las máquinas sincrónicas habituales, se utiliza una máquina de magnetización y un motor auxiliar (misma fuente). La máquina de magnetización proporciona al colector menos transferencia de la corriente de magnetización. El motor auxiliar (motor de arranque) hace funcionar la máquina para una rotación síncrona. Es posible combinar la máquina magnetizadora y el motor auxiliar como se describe en la solicitud PCT WO 85/02886.

En la máquina síncrona con imán permanente (PMSM, por sus siglas en inglés, permanent magnet synchronous machine), normalmente se utilizan convertidores de sistemas para conectar la máquina a la red. El convertidor proporciona un desacoplamiento entre la red y la máquina que permite la operación en rotación variable. El convertidor permite el control hacia la red eléctrica. Este "frente activo" puede usar interruptores en lugar de diodos hacia la red eléctrica. Esta configuración proporciona una conexión de red actualmente satisfactoria. El inconveniente es el coste del convertidor, que en algunos casos es igual al coste de la máquina.

Durante las últimas décadas, se han propuesto sistemas con alimentación por convertidor parcial para proporcionar una mayor funcionalidad. Un ejemplo es la máquina asíncrona de doble alimentación que se muestra en Electric Machines, Theory, Operation, Applications, Adjustment, and Control, Charles I Hubert. ISBN 0-675-21136-0, Capítulo 8. El estátor se alimenta directamente de la red, mientras que el rotor se alimenta a través de un convertidor y de anillos colectores. Esta configuración proporciona una mayor funcionalidad con una clasificación de convertidor de solo 1/3. Se conocen máquinas asíncronas multifase y máquinas de reluctancia conectadas a la red a través de una alimentación doble del estátor. Otro ejemplo de tecnología de la técnica anterior es la máquina síncrona con un estátor conectado directamente a la red, mientras que el circuito de campo tiene un convertidor. Además, el convertidor tiene una clasificación de potencia sustancialmente inferior a la clasificación nominal del generador. En máquinas rotativas más lentas, las máquinas sincrónicas convencionales requerirán un diámetro grande inadecuado para acomodar los devanados de magnetización. En tales casos, una máquina síncrona de imanes permanentes (PMSM) es una alternativa favorable. El inconveniente de las máquinas PMSM es que el campo no puede controlarse con un devanado de campo y se necesita un convertidor clasificado para toda la potencia de la máquina para controlarlas. En algunas aplicaciones, las máquinas PMSM se conectan directamente a la red y funcionan como motor o generador. Esta configuración puede usarse en un sistema con una velocidad estable. Debido a la curva fija de tensión/velocidad de la máquina PM, el flujo de potencia reactiva no puede controlarse en dichos sistemas. Un control alternativo para tales sistemas es instalar una fuente paralela de potencia reactiva. Tales fuentes pueden establecerse con condensadores estáticos por etapas o conjuntos de condensadores conmutados (STATCOM). El inconveniente de tales sistemas es el alto coste.

"Arrancador electrónico suave" es una noción utilizada para sistemas con dispositivos para proporcionar un mejor arranque en relación con la corriente de arranque y el par transitorio (Diseño de un controlador inteligente de arranque suave para motor de inducción, Wen-Xiong Li, Jian-Guo Lv, Ming-Sheng Lv., Actas de la Tercera Conferencia Internacional sobre Aprendizaje automático y cibernética, Shanghai, 26-29 de agosto de 2004). Para tales sistemas es típico el uso de tiristores conectados en serie al devanado del estátor. Los tiristores aumentan la tensión al estátor, para proporcionar un arranque más suave que en el arranque directo. Este tipo de equipo no puede dar la funcionalidad como un convertidor de puente completo con respecto al control de par/velocidad al arrancar. Los tiristores conectados en serie proporcionan menos control que una configuración de puente completo, que mediante el uso de control vectorial avanzado puede controlar todo tipo de máquinas de forma óptima. La conexión en serie de tiristores también se ha propuesto para controlar la potencia activa y reactiva.

A partir del documento EP1343247 A2 se conoce un aparato generador de turbina que comprende un generador de turbina que incluye una turbina de gas capaz de controlar su salida mediante un caudal de combustible y un generador síncrono de tipo de imanes permanentes conectado a dicha turbina de gas, en el que el generador síncrono de imanes permanentes está conectado a una red a través de un convertidor clasificado con potencia máxima.

Otra técnica anterior muestra máquinas PMSM conectadas a la red con la posibilidad de conectar una configuración de convertidor a la conexión de la red y que posiblemente desconecte la conexión de red por completo. Tales soluciones pueden encontrarse en la solicitud de patente WO2007027141A1 de ABB Research's del 08.03.2007. El inconveniente de tales sistemas es que los niveles de tensión en el convertidor deben ser los mismos que en la red sin usar un transformador.

Objetivos

El objetivo principal de la invención es reducir los costes y el tamaño, con una máquina que ocupe menos espacio que una máquina síncrona de imanes permanentes correspondiente.

También es un objetivo proporcionar un sistema con una mayor eficiencia en comparación con el sistema con convertidor completo.

Aparecerán objetivos adicionales a partir de la siguiente descripción de la invención y de sus realizaciones.

La invención

El método de acuerdo con la invención se describe en la reivindicación 1. Se basa en la doble alimentación del estátor de una máquina síncrona de imanes permanentes. La doble alimentación se logra utilizando la combinación de una alimentación directa y de una unidad de convertidor que alimenta un estátor, en la que al menos uno de los grupos de devanado está permanentemente conectado a una red a través de la unidad de convertidor y al menos otro grupo de devanado está conectado selectivamente a la red a través de un conector. Esto proporciona más ventajas en comparación con la tecnología de la técnica anterior. Las ventajas de diferentes tipos de máquinas se establecen más específicamente en los siguientes ejemplos. La invención puede denominarse "máquina síncrona de imanes permanentes de doble alimentación" (DFPMSM, por sus siglas en inglés, double fed permanent magnet synchronous machine).

La invención también comprende un dispositivo de un sistema eléctrico que incluye una máquina síncrona de imanes permanentes, como se establece en la reivindicación 6. Comprende un dispositivo de un sistema con una máquina síncrona de imanes permanentes, tal como un motor o generador, con una unidad de convertidor para alimentar o extraer potencia, siendo la novedad la unidad de convertidor dispuesta para alimentar o extraer una potencia sustancialmente inferior a la potencia máxima, que la máquina comprende más de un grupo de devanado, y que al menos un grupo de devanado está conectado selectivamente a una red a través de la unidad de convertidor y al menos otro grupo de devanado está conectado selectivamente a la red a través de un conector.

Este sistema tiene ventajas correspondientes como el método descrito.

Otras características de la invención se describen en las reivindicaciones restantes.

La unidad del convertidor puede estar clasificada para menos de aproximadamente el 50 % de la potencia total (potencia nominal).

La invención puede usarse con diferentes máquinas de imanes permanentes, tanto rotativas como lineales, motores y generadores.

Las máquinas síncronas de imanes permanentes actuales están conectadas directamente a la red o conectadas a través de una unidad de convertidor completo (con la potencia nominal de la máquina). Combinando ambos tipos de conexión del estátor, es posible tener una solución operando a velocidad constante con control del flujo de potencia reactiva. La diferencia entre la técnica anterior y la nueva solución es que la doble alimentación de los sistemas de la técnica anterior alimenta los mismos devanados del estátor directamente o a través de una unidad de convertidor, mientras que la nueva invención tiene una alimentación para separar los grupos de devanado.

El nuevo sistema ha reducido los costes en comparación con una solución de convertidor completo, pero proporcionará una parte sustancial de la misma funcionalidad. Además de controlar el suministro de potencia reactiva, la unidad de convertidor puede usarse para controlar el par. Esta nueva solución no tiene escobillas ni anillos colectores y, por lo tanto, necesitará un mantenimiento sustancialmente menor que los sistemas de la técnica anterior, como el generador de inducción de doble alimentación (DFIG, por sus siglas en inglés, Double Fed Induction Generator).

El tamaño de la parte alimentada por la unidad de convertidor variará de acuerdo con los requisitos de control del sistema. Los requisitos para el acoplamiento varían de un país a otro. En Noruega, el propietario de la red emite los requisitos. En las recomendaciones para la conexión a la red, los sistemas de más de 10 MW tienen requisitos de conexión particulares. Estos requisitos implican que los nuevos sistemas deberían diseñarse para contribuir al control de la potencia activa y reactiva durante las diferentes condiciones de operación en la red.

Para tales sistemas, el requisito para la parte alimentada por la unidad de convertidor del sistema alcanza el 50 %. Para sistemas más pequeños (<10 MW), la invención hará que el sistema sea más resistente al mal funcionamiento del sistema. En los cambios de tensión, el sistema puede administrar potencia reactiva a la red. Para sistemas más pequeños (<10 MW), los requisitos del propietario de la red no guiarán el diseño del sistema. En tales sistemas, el requisito de tensión estable será el más importante. Si uno o más sistemas de generador proporcionan cambios de tensión o cambios de frecuencia que exceden los límites de la calidad de salida, el proveedor de energía será responsable de un posible daño al sistema eléctrico. En el lado del consumidor, el equipo sufre daños normalmente cuando la tensión es demasiado alta o demasiado baja. Al usar generadores síncronos de imanes permanentes convencionales, se controla la tensión en bornes del sistema del generador, para evitar daños en el lado del consumidor.

La unidad de convertidor a usar de acuerdo con la invención puede ser una unidad de convertidor típica. No hay ninguna limitación para el tipo de conmutadores o topologías a utilizar. Un ejemplo puede ser una unidad de convertidor de puente completo. Esta unidad de convertidor puede basarse en tecnología IGBT (Transistor Bipolar de Puerta Aislada, IGBT por sus siglas en inglés, Insulated Gate Bipolar Transistor) y diseñarse con una parte para el lado de la red (frente activo) y una parte conectada al motor. Dichas dos partes de la unidad de convertidor se conectan normalmente con una conexión de CC.

Ejemplo

La invención se describe ahora con referencia a los dibujos.

Descripción de la figura 1

En la figura 1 se muestra una solución integrada. R1, R2, S1, S2, T1 y T2 denotan devanados conectados a dos puntos cero separados. Los devanados se agrupan para hacer que cada grupo sea un sistema trifásico. El grupo 1 consiste en R1, S1, T1. El grupo 2 consiste en R2, S2, T2. El grupo 1 está conectado a la red a través de una unidad de convertidor 10. El grupo 2 se conecta directamente a la red a través de un conector de red 12. Cuando la máquina arranca, el rotor se acelera con la unidad de convertidor 10. Es posible usar la parte controlada por la unidad de convertidor 10 para operar a velocidades cambiantes. Esto puede ser útil en un sistema de energía eólica cuando se extrae una potencia reducida a bajas velocidades, o en un sistema de hélices con control de inclinación.

11 denota un conector entre la conexión directa y la unidad de convertidor 10. Puede contener filtros de red y/o transformadores.

12 denota un conector para hacer una conexión directa. Puede ser mecánico (un contactor) o electrónico (electrónica de potencia),

13 denota un convertidor de CA-CC dentro de la unidad de convertidor 10 que está conectado a la red,

14 denota un convertidor de DC-AC dentro de la unidad de convertidor 10 que está conectado a la máquina eléctrica,

15 denota una máquina eléctrica.

Descripción de la figura 2

En la figura 2, se muestra un sistema con dos máquinas en el mismo árbol. Este principio también puede usarse en sistemas sin un árbol común para arrancar un motor con una admisión alternativa (por ejemplo, agua o vapor).

Descripción de la figura 3

11 denota un conector entre la conexión directa y la unidad de convertidor 10. Puede contener filtros de red y/o transformadores.

12 denota un conector para hacer una conexión directa. Puede ser físico (un contactor) o electrónico (electrónica de potencia),

13 denota un convertidor CA-CC dentro de una unidad de convertidor 10 conectado a la red,

14 denota un convertidor CC-CA dentro de una unidad de convertidor 10 conectado a la máquina eléctrica,

15 denota una máquina eléctrica,

16 denota un filtro o un transformador (también puede operar sin él),

17 denota un filtro o un transformador (también puede operar sin él).

El conjunto de conexión que se muestra en la figura 3 es de acuerdo con la técnica anterior. Los convertidores 13, 14 de la unidad de convertidor 10 de la figura 3 pueden ser convertidores de puente completo comunes u otros

conceptos de convertidor, por ejemplo, un convertidor multinivel. Los convertidores con conmutadores que pueden cerrarse de forma independiente son favorables, por ejemplo Interruptores IGBT.

En la figura 3, los convertidores están conectados a través de la conexión directa mediante un filtro o transformador de red. Para este tipo de sistema el filtro puede ser L o LCL. La clasificación del filtro junto con el convertidor regirá la parte de la potencia a controlar.

Al usar la unidad de convertidor 10, pueden controlarse la potencia reactiva y la activa. El sistema también puede controlarse sin perturbar la red. Si solo se utiliza la conexión directa, puede lograrse la máxima eficiencia para algunos modos de operación.

La última solución es óptima con respecto a la eficiencia, ya que el sistema puede administrar potencia total sin usar la unidad de convertidor 10. El modo de funcionamiento de la unidad de convertidor 10 puede cambiarse entre el compensador pasivo, de sincronización, de arranque, de parada, reactivo y más.

La operación con una eficiencia óptima es particularmente importante cuando se genera energía, pero también es importante en sistemas con altos requisitos de refrigeración. Este puede ser el caso en operaciones de perforación con altas temperaturas superficiales. Con el sistema de la figura 3, puede proporcionarse un sistema que use electrónica de potencia durante el arranque y la operación para reducir las pérdidas.

La realización de la figura 3 no forma parte de la presente invención, pero está incluida ya que es útil para comprender la presente invención.

Descripción de la figura 4

La figura 4 muestra una alternativa al sistema eléctrico de la figura 1.

- 20 denota un estátor de una máquina eléctrica (6 fases),
- 21 denota una conexión a una red,
- 12 denota una conexión directa,
- 22 denota un convertidor de frecuencia de la unidad de convertidor 10,
- 23 denota una red

La figura 4 es una ilustración esquemática de un estátor de doble alimentación. El estátor 1 tiene 6 fases. Tres de las fases están conectadas a la conexión directa 12, mientras que tres de las fases están conectadas a la unidad de conversión 10. Ambas fuentes están conectadas a la red 23 para que el estátor tenga doble alimentación. Además, el sistema también puede tener filtros y transformadores. Pueden disponerse contactores para permitir la conexión en derivación y/o en paralelo del convertidor.

Descripción de las figuras 5 y 6

- 20 denota un estátor de una máquina eléctrica (6 fases),
- 12 denota una conexión a una red,
- 22 denota un convertidor de frecuencia de la unidad de convertidor 10,
- 23 denota una red

La figura 5 muestra una conexión alternativa del sistema de doble alimentación. En este caso, el convertidor está conectado entre los dos conjuntos separados de devanados. La figura 6 muestra una posible conexión para el convertidor de la figura 5. La configuración de las figuras 5 y 6 permitirá todas las ventajas de una doble alimentación (arranque, frenado, control de potencia reactiva, amortiguación de transitorios, etc.).

Las realizaciones de las figuras 5 y 6 no forman parte de la presente invención, pero están incluidas ya que son útiles para comprender la presente invención.

Configuraciones/Modificaciones

El sistema puede estar estructurado de manera diferente:

Solución integrada

En las soluciones integradas, una máquina puede dividirse en diferentes grupos de devanados. Cada grupo representa una conexión trifásica. Uno o más grupos pueden recibir alimentación directa, mientras que uno o más pueden tener una conexión de convertidor. Una máquina eléctrica puede disponerse con múltiples sistemas trifásicos, por ejemplo, un sistema de 9 fases, con 3 fases conectadas a través de un convertidor y 6 fases conectadas directamente.

Soluciones de sistemas

En un sistema, uno puede usar un sistema físicamente desacoplado, en el que algunas partes están conectadas directamente a la red, mientras que una o más partes están conectadas a través de un convertidor. El control del sistema puede proporcionarse para controlar el flujo de potencia a través del convertidor y de la admisión física.

Ejemplos de uso

La invención puede usarse en un sistema generador impulsado por agua u otros tipos de energía. Para un sistema de generador, puede haber múltiples posibilidades para dividir el sistema en una parte conectada directamente y una parte conectada por convertidor.

En los motores eléctricos, es posible usar la parte del convertidor para llevar la máquina a una velocidad sincrónica. Cuando la velocidad es sincrónica, la parte para la conexión directa está conectada. El sistema opera como las máquinas sincrónicas de la técnica anterior con una máquina auxiliar para lograr la velocidad sincrónica. La diferencia es el uso de devanados de doble alimentación de un estátor de una máquina PM. Un ejemplo de este tipo de sistema puede ser el sistema de propulsión de un barco. En algunos sistemas, las hélices tienen una velocidad constante y un ajuste de la deflexión de la pala de la hélice. Este tipo de sistema puede arrancarse con hélices de deflexión cero con el convertidor y algunos de los devanados. Cuando la máquina tiene una velocidad sincrónica, la parte que se va a conectar directamente se activa. De esta forma, se logra una propulsión menos costosa y más eficiente.

Se usa una versión adicional de esta invención para máquinas PSM lineales de doble alimentación. En general, esto puede proporcionar las mismas ventajas que las descritas para las máquinas PMSM rotativas. Esto se describe con más detalle con un ejemplo.

Las máquinas lineales se utilizan en diferentes mercados y aplicaciones. Un ejemplo son los sistemas lineales con un resorte en cada extremo, en los que está implicada la resonancia. Tales sistemas de resonancia se usan para múltiples aplicaciones. Común para algunas de estas aplicaciones es la necesidad de acelerar el sistema a la velocidad de resonancia. Cuando se alcanza esta velocidad, el funcionamiento o la operación se realiza a esta velocidad. La invención con estátor con doble alimentación puede, por ejemplo, utilizarse en máquinas lineales con un convertidor de frecuencia para el arranque. En la frecuencia de resonancia, los devanados de doble alimentación están conectados. Los devanados alimentados por el convertidor pueden proporcionar control a la máquina, junto con el control de la potencia reactiva contra la red.

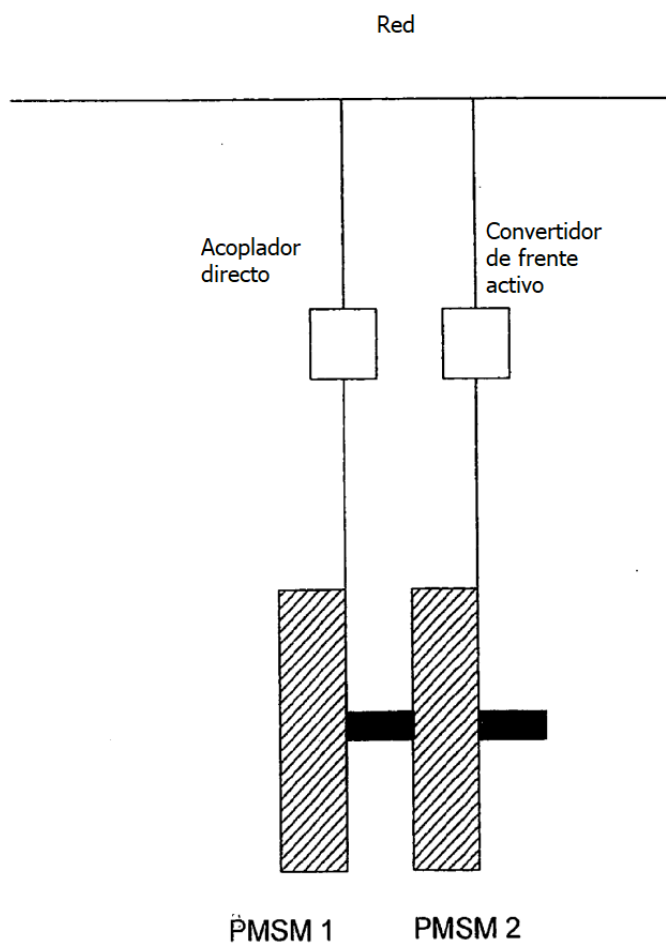
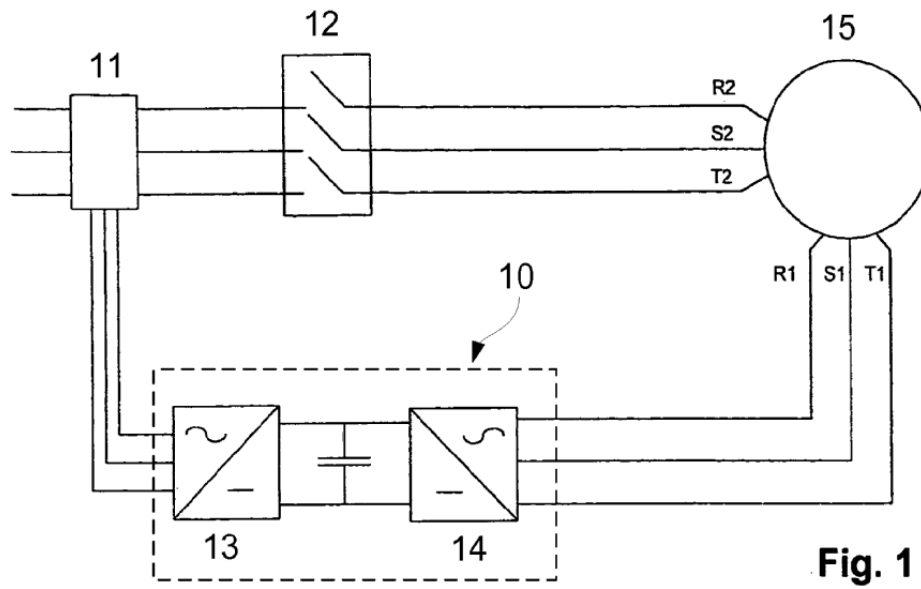
Resumen de las ventajas de la invención

- Cuando las líneas se caen, el nuevo sistema puede funcionar de manera independiente
- La potencia activa puede controlarse a costes sustancialmente más bajos
- La potencia reactiva puede controlarse a costes sustancialmente más bajos
- Es posible cambiar entre alimentación directa y la alimentación por convertidor
- La invención puede usarse con múltiples estatores en un árbol común
- La invención puede usarse en sistemas con varias máquinas, en los que una máquina se alimenta por convertidor y la otra se alimenta directamente
- Puede usarse la doble alimentación para reducir las pérdidas.

La invención permite la sustitución de una máquina síncrona normal por una máquina síncrona de imanes permanentes de doble alimentación.

REIVINDICACIONES

1. Método para operar una máquina síncrona de imanes permanentes (15), que tiene más de un grupo de devanado, y en la que una unidad de convertidor (10) está conectada al estátor de la máquina síncrona de imanes permanentes (15), **caracterizado por** conectar al menos un grupo de devanado (R1, S1, T1) a una red a través de la unidad de convertidor (10) y conectar al menos otro grupo de devanado (R2, S2, T2) selectivamente de forma directa a la red a través de un conector (12).
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** la potencia de la unidad de convertidor (10) es menor que aproximadamente el 50 % de la potencia total.
3. Método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizado por que** la unidad de convertidor (10) se usa para arrancar la máquina síncrona de imanes permanentes (15).
4. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** la unidad de convertidor (10) se usa para controlar el flujo de potencia activa y reactiva y para controlar la frecuencia de la máquina síncrona de imanes permanentes (15).
5. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** la unidad de convertidor (10) se utiliza para amortiguar los transitorios correspondientes a los devanados de amortiguación de las máquinas sincrónicas de la técnica anterior.
6. Sistema con una máquina síncrona de imanes permanentes (15), como un motor o un generador, con una unidad de convertidor (10) para alimentar o extraer potencia, la unidad de convertidor (10) está conectada al estátor de la máquina síncrona de imanes permanentes (15), en el que la máquina síncrona de imanes permanentes (15) tiene más de un grupo de devanado, **caracterizado por que**
 - la unidad de convertidor (10) está dispuesta para alimentar o extraer sustancialmente menos potencia que la potencia máxima del sistema, y
 - al menos un grupo de devanado (R1, S1, T1) está conectado a una red a través de la unidad de convertidor (10) y al menos otro grupo de devanado (R2, S2, T2) está configurado para conectarse selectivamente a la red a través de un conector (12).
7. Sistema de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado por que** los grupos de devanado de la máquina de imanes permanentes (15) están definidos por segmentos de la máquina, discos o platos de la máquina, máquinas separadas o devanados conectados a diferentes puntos neutros.
8. Sistema de acuerdo con la reivindicación 6, **caracterizado por que** la unidad de convertidor (10) está clasificada para menos de aproximadamente el 50 % de la potencia total.



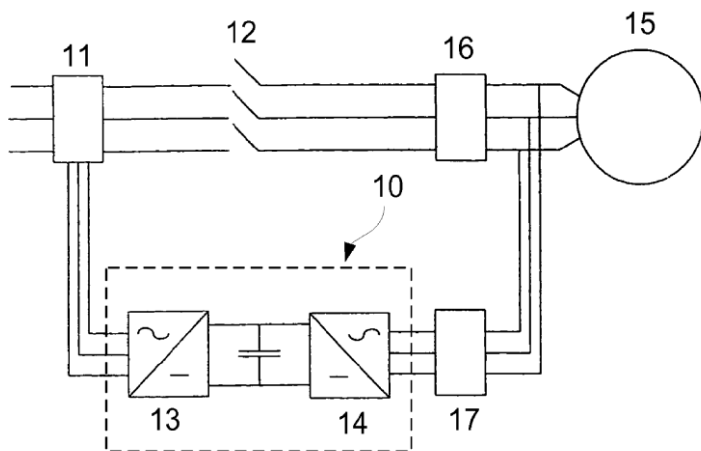


Fig. 3

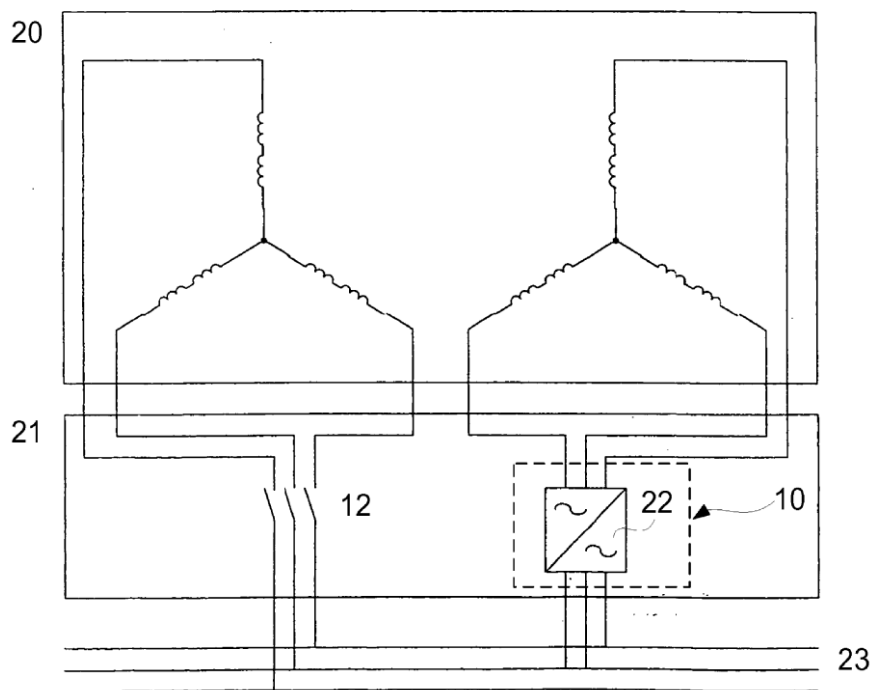


Fig. 4

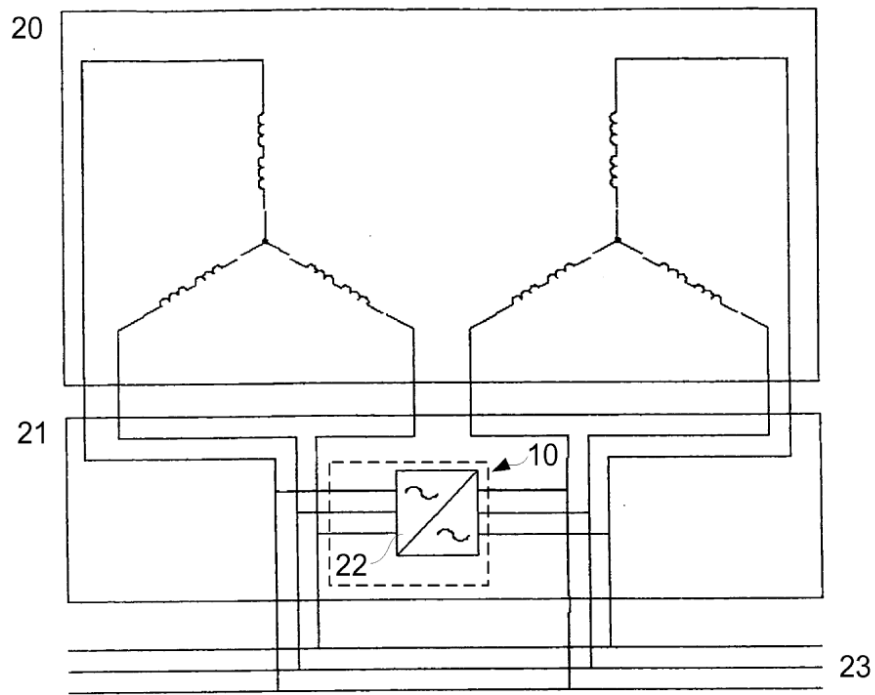


Fig. 5

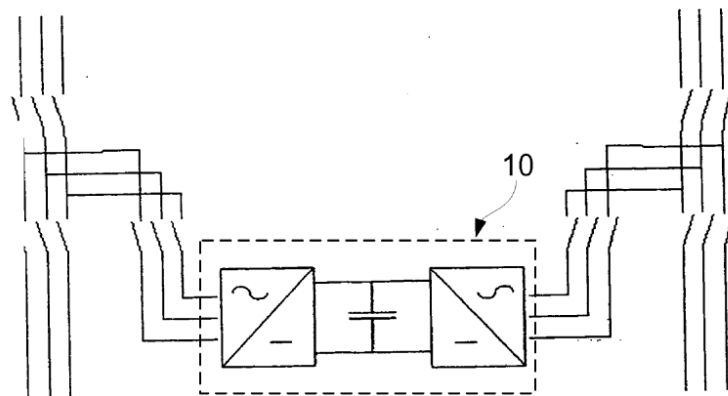


Fig. 6