

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 715 976**

51 Int. Cl.:

H02P 9/00 (2006.01)

H02P 9/42 (2006.01)

H02P 9/48 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.07.2004** **E 04017472 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.12.2018** **EP 1513251**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para operar una máquina de corriente trifásica de alimentación doble como generador en una instalación de energía eólica**

30 Prioridad:

25.07.2003 DE 10334051

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

07.06.2019

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Werner-von-Siemens-Strasse 1
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**SEEHUBER, MICHAEL, DR.-ING.;
MEHL, TOBIAS, DIPL.-ING. y
WIESBAUER, JOSE, ING.**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 715 976 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

Procedimiento y dispositivo para operar una máquina de corriente trifásica de alimentación doble como generador en una instalación de energía eólica.

5 Procedimiento y dispositivo para operar una máquina de corriente trifásica de alimentación doble, particularmente en una instalación de energía eólica. La invención hace referencia a un procedimiento para operar una máquina de corriente trifásica de alimentación doble como generador en una instalación de energía eólica, con un convertidor de
 10 circuito intermedio de tensión continua en el circuito del rotor; a un procedimiento para operar una instalación de energía eólica con una máquina de corriente trifásica de alimentación doble, con un generador de corriente trifásica y con un convertidor de circuito intermedio de tensión continua en el circuito del rotor.

La invención hace referencia en especial a un procedimiento para operar una máquina de corriente trifásica de alimentación doble con inducido de anillos rozantes, y con un convertidor de frecuencia en el circuito del rotor para un funcionamiento de revoluciones variables; así como a un correspondiente procedimiento para operar una
 15 instalación de energía eólica con una máquina de corriente trifásica de alimentación doble con inducido de anillos rozantes, y con un convertidor de frecuencia en el circuito del rotor.

Las máquinas de corriente trifásica de alimentación doble con inducido de anillos rozantes, y con un convertidor de frecuencia en el circuito del rotor se utilizan en primera línea y con frecuencia como generadores en instalaciones de energía eólica con velocidad de funcionamiento variable. La velocidad de funcionamiento variable se consigue allí en correspondencia con las condiciones del viento, por ejemplo, a través de un ajuste, preferentemente un ajuste
 20 continuo, del ángulo de incidencia de las palas del rotor. El convertidor en el circuito del rotor del generador está compuesto por ejemplo de dos inversores de pulso, los cuales están conectados entre sí mediante un circuito intermedio de tensión continua. El estator de la máquina de corriente trifásica con alimentación doble está conectado directamente a la red de corriente, mediante un interruptor de potencia. La regulación de la instalación de energía eólica se realiza mediante el convertidor, el cual genera la necesaria diferencia de frecuencia en amplitud y posición
 25 de fase para la correspondiente revolución del rotor. Mediante la potencia del convertidor se predetermina el rango de velocidades útil del generador y con ello de la instalación de energía eólica. Por lo general, en este tipo de aplicaciones, se obtiene un rango de ajuste de velocidad de ± 30 hasta $\pm 35\%$ de la velocidad sincrónica.

Especialmente en instalaciones de energía eólica de mayor potencia, también en casos de viento débil se debe generar una importante potencia eólica, la cual sin embargo no puede ser aprovechada con el procedimiento
 30 operacional convencional de la máquina de corriente trifásica de alimentación doble, ya que la necesaria ampliación de la tensión del convertidor en velocidades bajas provoca altas pérdidas de hierro del estator en la red de corriente. La energía eléctrica que se puede generar es entonces menor que la energía que el estator absorbe de la red. Al mismo tiempo, el convertidor y su diseño dimensional, deberían realizarse considerablemente más grandes, para ampliar el rango de regulación.

35 Por la solicitud DE 101 17 212 A1 se conoce un procedimiento para operar una instalación de energía eólica. El procedimiento para operar una instalación de energía eólica debe posibilitar, incluso en casos con viento débil, la generación rentable de energía eléctrica con un generador de corriente trifásica, con un convertidor de circuito intermedio de tensión continua en el circuito del rotor para un funcionamiento del generador con velocidad variable. Esto se puede conseguir cuando en condiciones normales de viento, el generador de corriente trifásica se opera en
 40 el funcionamiento normal como una máquina asíncrona de alimentación doble, y en condiciones de viento reducido, fuera de su zona de trabajo subsíncrona, se conmuta mediante la separación de su estator de la red de corriente, y el cortocircuito del mismo a través de una resistencia de deslizamiento trifásica, a una máquina asíncrona simple y se opera como tal.

45 Por la solicitud US 2003/0052643 A1 se conoce una máquina de inducción de alimentación doble, sin escobillas, con dos devanados de estator polifásicos y una regulación para ello. La regulación recomendada está proporcionada para operar la máquina de inducción de alimentación doble en diferentes modos. En el régimen de carga leve, la máquina también se puede operar con un devanado del rotor cortocircuitado.

El objeto de la presente invención consiste en ampliar el rango de ajuste de una máquina de corriente trifásica de alimentación doble y particularmente en conseguir un rango de ajuste considerablemente más amplio para una
 50 instalación de energía eólica que resulte realmente rentable, sin que sea necesario modificar, y especialmente aumentar, el diseño dimensional del convertidor en el circuito del rotor.

Dicho objeto se resuelve, conforme a la presente invención, mediante las características de las reivindicaciones 1, 6 y 7. Los perfeccionamientos ventajosos se describen en las reivindicaciones relacionadas. Mediante la invención se amplía el rango de ajuste de velocidades de la máquina de corriente trifásica.

Conforme a la invención, en un procedimiento del tipo indicado en la introducción para operar una máquina de corriente trifásica de alimentación doble; en una potencia normal, la máquina de corriente trifásica funciona como una máquina asíncrona de alimentación doble y con una potencia menor, como una máquina asíncrona con inducido de cortocircuito. En un procedimiento para operar una instalación de energía eólica con una máquina de corriente trifásica de alimentación doble, con un convertidor de circuito intermedio de tensión continua en el circuito del rotor, la máquina de corriente trifásica de alimentación doble se opera según el procedimiento conforme a la invención. Una instalación de energía eólica con un generador de corriente trifásica y con un circuito intermedio de tensión continua en el circuito del rotor, está caracterizada conforme a la presente invención por un dispositivo de conmutación para conmutar de un funcionamiento como máquina asíncrona de alimentación doble, a un funcionamiento como máquina asíncrona con inducido de cortocircuito.

Conforme a la invención, una máquina asíncrona de alimentación doble como generador de una instalación de energía eólica, en un funcionamiento normal, funciona como una máquina asíncrona de alimentación doble normal. Con viento reducido, fuera de la zona de trabajo subsíncrona rentable de la máquina de corriente trifásica de alimentación doble, el rotor se separa de su convertidor y mediante un correspondiente dispositivo de conmutación se cortocircuita, con lo cual el rotor se vuelve un inducido de cortocircuito. Al mismo tiempo, el devanado del estator se separa de la red y se conecta nuevamente a la red mediante el convertidor efectivo del circuito del rotor. En esta disposición, el convertidor trabaja ahora como un convertidor completo. La máquina asíncrona de inducido de anillos rozantes funciona como una máquina asíncrona normal con inducido de cortocircuito (máquina asíncrona de inducido de cortocircuito). El convertidor del lado del motor, trabaja como un convertidor elevador. La inductancia de la máquina se utiliza como inductor del convertidor elevador.

De esta manera se posibilita un funcionamiento rentable de la instalación de energía eólica también con vientos débiles, e incluso sin los problemas de las pérdidas en el circuito del estator de la máquina asíncrona de alimentación doble, que se presentan en el funcionamiento convencional; y sin que el convertidor tenga que ser adaptado especialmente al circuito del rotor.

De esta manera, en comparación con las instalaciones convencionales, la presente invención hace posible sin grandes costes técnicos el funcionamiento rentable de instalaciones de energía eólica tanto en condiciones de viento normales, en un rango de regulación de velocidades convencionales de la máquina asíncrona de alimentación doble; así como también en condiciones de viento reducido, que ya no se pueden cubrir de manera rentable mediante el procedimiento operacional normal. De esta manera, las instalaciones de energía eólica pueden generar energía aún con bajas intensidades de viento, cuando las instalaciones de energía eólica convencionales ya deberían ser desconectadas por razones de rentabilidad.

La conmutación del convertidor del circuito del rotor al circuito del estator y a la inversa; y la separación o bien la reconexión del devanado del estator directamente a la red, puede efectuarse mediante interruptores semiconductores o contactores. Los interruptores semiconductores o los contactores pueden estar situados directamente en la máquina de corriente trifásica, en una caja de conexión o en un gabinete de control, o los mismos pueden estar ubicados alejados de la misma en un gabinete de control separado.

En las instalaciones eólicas conocidas, es común que los cables para la conexión del estator a la red de corriente se dirijan desde el generador en el extremo superior de la torre de la instalación hacia un gabinete de control dispuesto en la base de la torre, en el cual, o en cuya cercanía está dispuesto el interruptor propio para la separación del estator de la red de corriente. De manera conveniente, en esta posición también se disponen los denominados interruptores semiconductores o los contactores para la conmutación de la máquina desde el modo de funcionamiento como máquina asíncrona de alimentación doble (DGAM) al modo de funcionamiento como máquina asíncrona con inducido de cortocircuito (AMK).

La presente invención también hace referencia a una instalación eólica, la cual está equipada y resulta adecuada para el funcionamiento en correspondencia al procedimiento operacional conforme a la invención.

A continuación se explica en detalle un ejemplo de ejecución de la presente invención de acuerdo con el dibujo incluido. En los dibujos se muestra:

la figura 1, un diagrama de circuito esquemático de la máquina de corriente trifásica con alimentación doble conforme a la invención con convertidor de circuito intermedio de tensión continua en el circuito del rotor y la posibilidad de conmutar a una máquina asíncrona normal con convertidor completo; y

la figura 2, la curva de potencia (curva característica de potencia) de una instalación de energía eólica conforme a la invención.

La figura 1 muestra el esquema de una máquina asíncrona 1 de alimentación doble conforme a la invención para funcionar como generador en una instalación eólica; en donde la máquina asíncrona 1 comprende un estator 2 y un

rotor 3. El estator 2 está conectado con la red 14 mediante puntos de conexión 13, mediante un interruptor principal 8. El rotor 3 está conectado, mediante un interruptor 10, con el inversor 4 en el circuito del rotor. Este convertidor 4 comprende dos unidades de convertidor 5, 6, es decir un inversor de pulso 5 del lado del rotor, y un inversor de pulso 6 del lado de la red, los cuales están conectados entre sí mediante un circuito intermedio de tensión continua 7. En el caso de los inversores de pulso 5 y 6 puede tratarse de los así denominados IGBTs.

El inversor de pulso 3 del convertidor 4 está conectado con la red de corriente 14 mediante otro interruptor principal 12 y un punto de conexión de red 15. Allí, los puntos de conexión 13 y 15 pueden también ser idénticos.

En paralelo al interruptor principal 12 está conectada una sección de precarga. Aquí puede tratarse por ejemplo de resistencias óhmicas. La sección de precarga 16 sirve para la precarga del circuito intermedio 7 del convertidor 4, antes de la propia conexión del convertidor 4.

En el circuito del rotor está proporcionado además otro interruptor 11, entre el rotor 3 y el interruptor 10. Cerrando el otro interruptor 11 en el circuito del rotor, se puede cortocircuitar el rotor 3. Así se convierte en un inducido de cortocircuito.

Desde la línea que va desde el estator 2 a través del interruptor principal 8 hacia la red de corriente 14, se derivan en un punto entre el estator 2 y el interruptor principal 8 líneas que se conducen hacia las líneas desde el rotor 3 hacia el convertidor 4, y en las cuales está proporcionado otro interruptor 9. El otro interruptor 9 hace posible conectar el devanado del estator al inversor 5 del lado del rotor.

En el caso de los interruptores 8, 9, 10, 11 y 12 mostrados en la figura 1 puede tratarse de contactores convencionales, o también de interruptores basados en semiconductores (interruptores semiconductores).

En una forma de ejecución especialmente ventajosa, el interruptor 11 para cortocircuitar el devanado del rotor puede realizarse mediante el así denominado Crow Bar. En las instalaciones eólicas convencionales, a la entrada del rotor del convertidor está dispuesto por lo general un así denominado Crow Bar. Aquí, se trata de un interruptor basado en un tiristor para cortocircuitar el devanado del rotor. El Crow Bar sirve por lo general para proteger al convertidor de sobretensiones, por ejemplo en el caso de un cortocircuito de red o de devanado del lado del estator. En la especial ejecución propuesta de la invención, el Crow Bar se utiliza simultáneamente como interruptor 11 para cortocircuitar el devanado del rotor.

En el funcionamiento normal de la disposición como máquina asíncrona de alimentación doble, el estator 2 está conectado directamente a la red 14 mediante el interruptor 8 cerrado. El interruptor 9 está abierto. El rotor 3 está conectado con el inversor 5, del lado del rotor, del convertidor de frecuencia 4, mediante el interruptor 10 cerrado. El interruptor 11 está abierto. El inversor 6, del lado de la red, del convertidor 4 está conectado con la red 14 mediante el interruptor 12 cerrado.

Ante un viento débil, el cual, para un funcionamiento subsíncrono como máquina asíncrona de alimentación doble, no resulta suficiente para una obtención de energía rentable, la disposición se conmuta para un funcionamiento como máquina asíncrona con inducido de cortocircuito y convertidor completo. En este modo de funcionamiento, el interruptor 10 se abre, de modo que el rotor 3 se separa del convertidor 4. El interruptor 11 se cierra, de modo que el rotor 3 se cortocircuita. Además, el interruptor 8 se abre, de modo que el estator 2 se separa de la red. El interruptor 9 se cierra, de modo que el estator 2 se conecta al inversor 5. De esta manera, el convertidor 4 trabaja ahora como un convertidor completo en una máquina asíncrona con inducido de cortocircuito. El inversor 5 del lado del motor, trabaja como un convertidor elevador. La inductancia de la máquina asíncrona se utiliza como inductora del convertidor elevador.

Allí, se produce como función de la potencia de viento aproximadamente el desarrollo de potencia mostrado en la figura 2 de la instalación eólica. En la curva de potencia conforme a la figura 2, está representada la potencia en relación a una potencia nominal (potencia/ potencia nominal) a través de un número de revoluciones en relación a un número de revoluciones nominal (número de revoluciones/ número de revoluciones nominal).

En condiciones de viento que permiten un modo de funcionamiento en un funcionamiento convencional, resulta el desarrollo de la curva 17 para la potencia entregada de la instalación eólica en el funcionamiento normal, con un límite de rentabilidad 19 inferior para el funcionamiento. En el ejemplo de ejecución de la figura 2, el límite de rentabilidad 19 inferior se ubica en aproximadamente 900 vueltas por minuto. Por debajo de dicho límite 19, no resulta más posible un funcionamiento rentable de la instalación de energía eólica como máquina asíncrona de alimentación doble.

Pero, mediante una conmutación conforme a la invención de la máquina asíncrona al estado de funcionamiento de una máquina asíncrona de inducido de cortocircuito con convertidor completo en el estator, también se vuelve accesible este rango de potencia para una generación de energía rentable sin modificaciones de las aplicaciones

- para el convertidor de la instalación; y se genera el desarrollo de potencia 18, representado en la figura 2, para la potencia entregada de la instalación eólica, como función del número de revoluciones. Mediante el ajuste del ángulo de incidencia de las palas del rotor de la instalación de energía eólica, el número de revoluciones se adapta allí a la intensidad del viento y mediante un correspondiente control del convertidor 4 se controla la potencia entregada. Los
- 5 rangos de velocidades de ambos estados de funcionamiento 17 y 18, como una máquina asíncrona de alimentación doble, o bien, como máquina asíncrona de inducido de cortocircuito con convertidor completo en el estator se superponen, como se muestra en la figura 2. Esto define el rango de conmutación 19 entre los dos estados de funcionamiento 17, 18. El momento de conmutación real se puede ubicar aquí, según el algoritmo de control de la instalación eólica en números altos o bajos de revoluciones, dentro de este rango de conmutación.
- 10 Mediante la invención se logra un procedimiento para operar una máquina de corriente trifásica de alimentación doble con un convertidor de circuito intermedio de tensión continua en el circuito del rotor; o para operar una instalación de energía eólica con una máquina de corriente trifásica y con un convertidor de circuito intermedio de tensión continua en el circuito del rotor, para un funcionamiento de velocidad variable, en el cual, la máquina de corriente trifásica en un funcionamiento normal, o bien la instalación de energía eólica en condiciones de viento
- 15 normales, funciona como una máquina asíncrona de alimentación doble; y en el cual la máquina de corriente trifásica en una potencia menor, o bien con viento reducido, fuera de una zona de trabajo subsíncrona rentable en esta disposición, se conmuta a una máquina asíncrona con inducido de cortocircuito, separando el rotor del convertidor, cortocircuitando el rotor y conmutando el estator de la red al convertidor, y funciona en este circuito. Las conversiones necesarias pueden efectuarse mediante interruptores semiconductores o contactores. Los
- 20 interruptores semiconductores o los contactores para la conmutación, pueden estar situados directamente en una caja de conexión de la máquina de corriente trifásica, o alejados de la misma en un gabinete de control. El convertidor puede funcionar, de manera adaptada en tecnología de regulación de acuerdo con el modo de operación convencional, como un convertidor completo o como un convertidor en el circuito del rotor.
- Mediante la invención se logra además una instalación de energía eólica con una máquina de corriente trifásica y
- 25 con un convertidor de circuito intermedio de tensión continua en el circuito del rotor para un funcionamiento de velocidad variable, en la cual en condiciones de viento normales, la máquina de corriente trifásica funciona en un funcionamiento normal como una máquina asíncrona de alimentación doble; y con viento reducido, fuera del rango de una zona de trabajo subsíncrona rentable de la máquina de corriente trifásica de alimentación doble, la misma se conmuta a una máquina asíncrona con inducido de cortocircuito, separando el rotor del convertidor y conmutando el
- 30 estator de la red al convertidor, y funciona en este circuito. La conmutación puede efectuarse mediante interruptores semiconductores o contactores. Los interruptores semiconductores o los contactores para la conmutación, pueden estar situados directamente en una caja de conexión de la máquina de corriente trifásica, o alejados de la misma en un gabinete de control. Según el modo de funcionamiento, el convertidor puede funcionar de manera adaptada en tecnología de regulación de acuerdo con el modo de operación convencional, como un convertidor completo o como
- 35 un convertidor en el circuito del rotor. Para el cortocircuito del devanado del rotor se puede utilizar el así denominado Crow Bar.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para operar una máquina de corriente trifásica (1) de alimentación doble como generador en una instalación de energía eólica, con un convertidor de circuito intermedio de tensión continua en el circuito del rotor, caracterizado porque con una potencia eólica normal, la máquina de corriente trifásica (1) funciona como una máquina asíncrona de alimentación doble y con una potencia eólica menor, como una máquina asíncrona con inducido de cortocircuito; y porque para el funcionamiento de la máquina de corriente trifásica como una máquina asíncrona con inducido de cortocircuito, el rotor (3) se separa del convertidor de circuito intermedio de tensión continua (4) y se cortocircuita, y el estator (2) se conmuta de la red (14) al convertidor (4).
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque las conmutaciones necesarias se realizan mediante interruptores semiconductores o contactores.
3. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque particularmente el cortocircuito del rotor (3) se efectúa mediante el así denominado Crow Bar (11), a la entrada, del lado del rotor, del convertidor de circuito intermedio de tensión continua (4).
4. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado porque los interruptores semiconductores o los contactores están situados en una caja de conexión de la máquina de corriente trifásica (1) o alejados de la misma en un gabinete de control.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el convertidor funciona de manera adaptada en tecnología de regulación de acuerdo con el modo de operación convencional, como un convertidor completo o como un convertidor en el circuito del rotor.
6. Procedimiento para operar una instalación de energía eólica con una máquina de corriente trifásica (1) de alimentación doble, caracterizado porque la máquina de corriente trifásica (1) se opera conforme al procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5.
7. Instalación de energía eólica con un generador de corriente trifásica (1), y con un convertidor de circuito intermedio de tensión continua (4) en el circuito del rotor para implementar el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizada por un dispositivo de conmutación para conmutar de un funcionamiento como máquina asíncrona de alimentación doble al funcionamiento como máquina asíncrona con inducido de cortocircuito; que comprende interruptores (8,9,10,11):
 - para separar el estator (2) de la red (14);
 - para conectar el estator (2) a un inversor (5) del convertidor (4);
 - para separar el rotor (3) del convertidor (4); y
 - para cortocircuitar el rotor.
8. Instalación de energía eólica según la reivindicación 7, caracterizada por un interruptor (10) para separar el rotor (3) del convertidor de circuito intermedio de tensión continua (4); un interruptor (11) para cortocircuitar el rotor (3); un interruptor (8) para separar el estator (2) de la red (14); y un interruptor (9) para conectar el estator (2) con el convertidor de circuito intermedio de tensión continua (4).
9. Instalación de energía eólica según la reivindicación 7 u 8, caracterizada por interruptores semiconductores o contactores para conmutar de un funcionamiento como máquina asíncrona de alimentación doble, a un funcionamiento como máquina asíncrona con inducido de cortocircuito.
10. Instalación de energía eólica según la reivindicación 7 u 8, caracterizada porque particularmente el cortocircuito del rotor (3) se efectúa mediante el así denominado Crow Bar (11), a la entrada, del lado del rotor, del convertidor de circuito intermedio de tensión continua (4).
11. Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones 7 a 10, caracterizada porque los interruptores semiconductores o los contactores están situados en una caja de conexión de la máquina de corriente trifásica (1) o alejados de la misma en un gabinete de control.

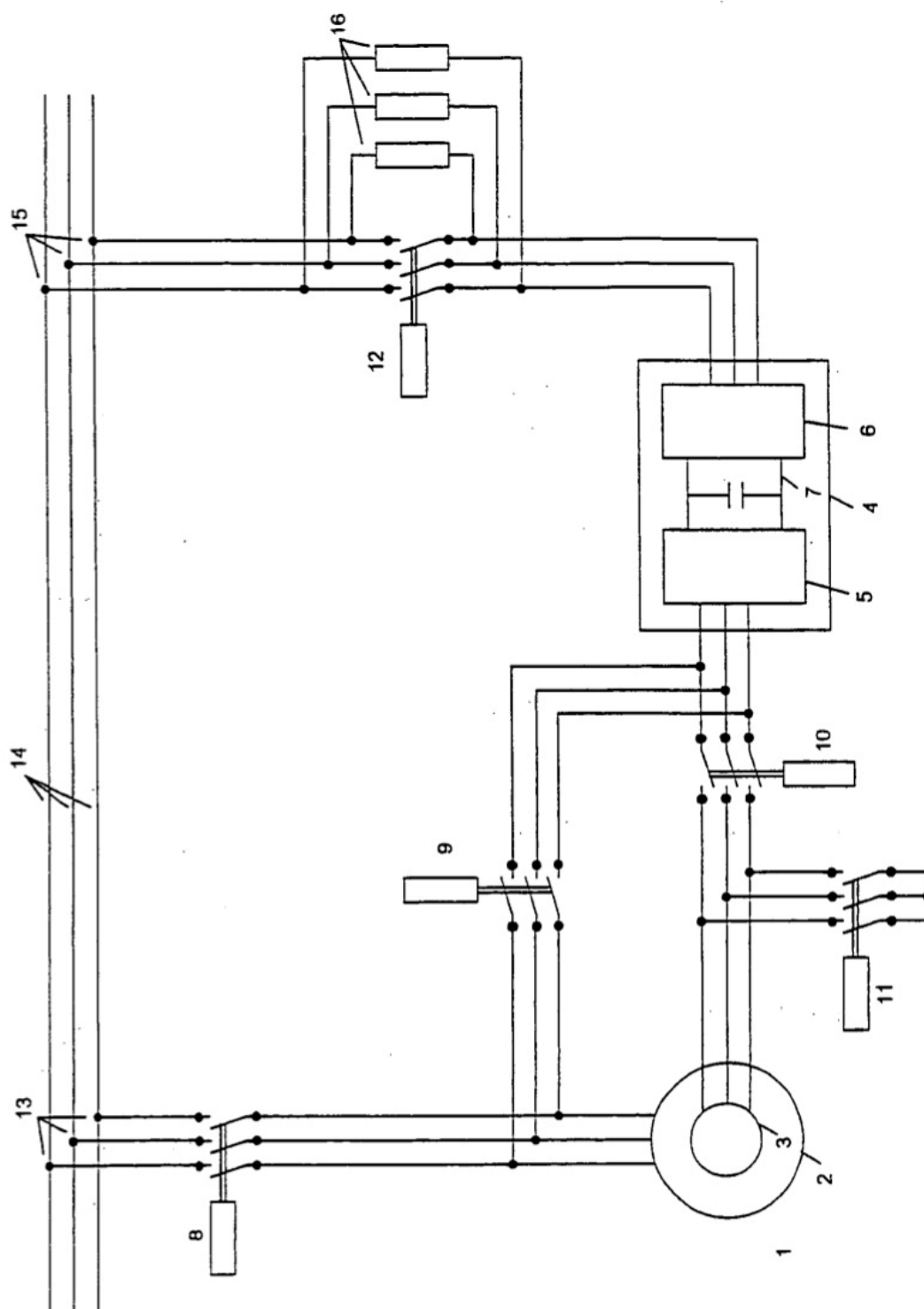


Figura 1

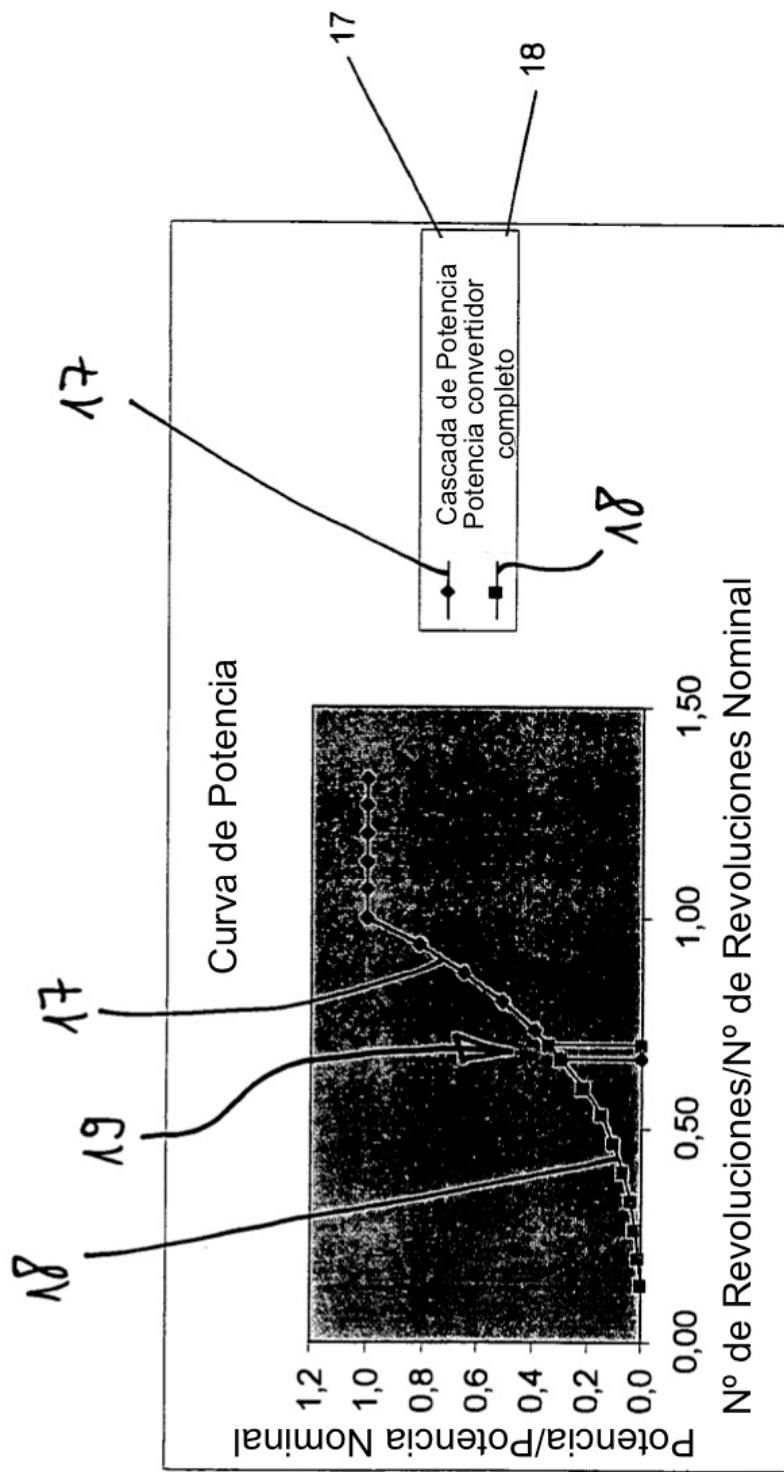


Figura 2