

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 632 780**

51 Int. Cl.:

**H02M 5/458** (2006.01)

**H02M 7/5387** (2007.01)

**H02J 3/38** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.08.2013 PCT/EP2013/067248**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.02.2015 WO15024583**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.08.2013 E 13756343 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.04.2017 EP 3011668**

54 Título: **Procedimiento de regulación para convertidores de conmutación automática, para regular el intercambio de potencia**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**15.09.2017**

73 Titular/es:  
**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)  
Werner-von-Siemens-Straße 1  
80333 München, DE**

72 Inventor/es:  
**BROGAN, PAUL BRIAN;  
JONES, RODNEY;  
MENKE, PETER y  
ZUROWSKI, RAINER**

74 Agente/Representante:  
**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 632 780 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 de regulación para convertidores de conmutación automática, para regular el intercambio de potencia

5 La presente invención hace referencia a un procedimiento para regular un convertidor de conmutación automática, que está conectado a otros convertidores de conmutación automática mediante su conexión de tensión alterna, a través de un componente inductivo, con un punto de acoplamiento común a todos los convertidores de una red de tensión alterna con frecuencia nominal  $f_N$ .

10 La invención hace referencia además a un convertidor de conmutación automática para transmitir una potencia con una conexión de tensión alterna para conectar una red de tensión alterna, una conexión de tensión continua para conectar una red de tensión continua y una unidad de regulación, que está conectada a unos conmutadores semiconductores de potencia conectables y desconectables a través de unas líneas de control y está equipada para ajustar la transmisión de la potencia con ayuda de un procedimiento citado al comienzo.

La invención hace referencia además a un parque eólico con un gran número de aerogeneradores, en donde cada aerogenerador presenta un convertidor de conmutación automática de este tipo.

15 Se conoce ya un procedimiento de este tipo, un convertidor de conmutación automática de este tipo y un parque eólico de este tipo del artículo de R. Blasco-Gimenez et al., Universidad Politécnica de Valencia, con el título "Control distribuido de tensión y frecuencia de parques eólicos marinos conectados con un enlace HVDC basado en diodos" (del inglés "Distributed Voltage and Frequency Control of Off-shore Wind Farms Connected with a Diode Based HVDC link"). El convertidor de conmutación automática citado está conectado a través de un circuito intermedio de tensión continua a otro convertidor, que actúa como rectificador y por su parte está conectado, en el lado de la tensión alterna, al generador sincrónico de una central eólica. Al contrario que los procedimientos de regulación habituales se propone que, con ayuda de la corriente activa, se ajuste la tensión y, con la corriente reactiva ajustada, la frecuencia de la red de tensión alterna conectada. Como procedimiento de regulación se propone una regulación de corriente, en donde se establecen unos valores nominales para la corriente activa y reactiva y se comparan respectivamente con las corrientes medidas del convertidor, formando unos valores diferenciales. El valor diferencial respectivo se alimenta a un regulador, que es responsable de una activación correspondiente del convertidor de conmutación automática. Los valores nominales para la corriente activa y reactiva se establecen con ayuda de reguladores, sobre la base de mediciones centralizadas y descentralizadas.

20 Del artículo de R. Jocabert et al., con el título "Control del convertidores de potencia en micro-redes de CA" (del inglés Control of Power Converters in AC Microgrids"), IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 27, Nº 11, noviembre de 2012, se conocen también un procedimiento de este tipo y un convertidor de este tipo.

El objeto de la invención consiste en suministrar un procedimiento de la clase citada al comienzo, que en la práctica pueda aplicarse fácilmente y tenga una estructura lo más sencilla posible.

35 La invención resuelve este objeto mediante un procedimiento para regular un convertidor de conmutación automática, que está conectado a otros convertidores de conmutación automática mediante su conexión de tensión alterna, a través de un componente inductivo, con un punto de acoplamiento común a todos los convertidores de una red de tensión alterna, en el que

- a partir de una tensión de red  $\vec{u}_{VP}$  establecida en el punto de acoplamiento y una corriente del convertidor  $\vec{i}_{RE}$  establecida que fluye a través del componente inductivo, se determinan una potencia activa P y una frecuencia  $f_N$ ,
- se forman la diferencia entre la potencia activa P y una potencia activa nominal prefijada  $P_{Soll}$ , con la obtención de un valor diferencial de potencia activa  $\Delta P$  y
- la diferencia entre la frecuencia  $f_N$  y una frecuencia nominal prefijada  $F_{Soll}$ , con la obtención de un valor diferencial de frecuencia  $\Delta f$ ,
- en donde el valor diferencial de potencia activa  $\Delta P$  alimenta tanto a un regulador ortogonal como a un regulador paralelo, y
- en donde con el valor de salida del regulador ortogonal se determina la potencia activa P y con el valor de salida del regulador paralelo se minimiza la potencia reactiva intercambiada entre el convertidor y el punto de acoplamiento,

- en donde el valor diferencial de frecuencia  $\Delta f$  alimenta a un regulador de frecuencia y el valor de salida del regulador de frecuencia se combina con el valor de salida del regulador ortogonal y el valor de salida del regulador paralelo, en donde al mismo tiempo se minimiza el valor diferencial de frecuencia  $\Delta f$ .

5 Con ayuda del procedimiento conforme a la invención puede regularse un convertidor de conmutación automática para transmitir una potencia, que puede conectarse a una red de corriente alterna de alta tensión en su conexión de tensión alterna a través de un componente inductivo. Con el término "potencia" se hace referencia aquí a una potencia aparente, que comprende potencia tanto activa como reactiva. Para que pueda usarse ventajosa y prácticamente el procedimiento en el marco de la presente invención, la red de corriente alterna de alta tensión debería ser una red de corriente alterna de alta tensión débil, que pueda presentar incluso una relación de potencia de cortocircuito inferior a 2. Una red de corriente alterna de alta tensión de este tipo puede estar conformada básicamente de cualquier forma en el marco de la invención. De este modo es por ejemplo posible que la red de tensión alterna esté conectada a una red de distribución fuerte a través de una conexión de tensión continua. La conexión de tensión continua comprende ventajosamente un rectificador de diodos, que está conectado a través de una red de tensión continua a otro convertidor, que está conectado a la red de distribución. Este convertidor es por ejemplo un convertidor de conmutación automática, como por ejemplo un llamado convertidor de fuente de tensión (del inglés Voltage Source Converter (VSC)). Alternativamente al rectificador de diodos puede estar conectado a la red de tensión alterna también un convertidor de conmutación externa, que presenta tiristores como conmutadores semiconductores de potencia. El convertidor de conmutación externa está conectado después a un VSC en lugar del rectificador de diodos a través de una red de corriente continua de alta tensión, p.ej. un circuito intermedio de tensión continua.

En el marco de la invención los diferentes convertidores de conmutación automática están conectados como unidades de regulación a una red de tensión alterna débil. La red de tensión alterna está conectada por ejemplo a un rectificador de diodos o a un convertidor de conmutación externa. A este respecto la red de tensión alterna citada está diseñada para altas tensiones. No posee por ejemplo su propia fuente de energía y en todo caso puede abastecerse de energía desde el exterior a través de una línea de abastecimiento auxiliar.

Como medida de una red de tensión alterna fuerte o débil el técnico usa la línea de cortocircuito  $S_k$ , que se calcula a partir del producto entre la corriente de cortocircuito  $I_k$ , la corriente nominal  $U_n$  y un factor de concatenación  $\sqrt{3}$ , conforme a la fórmula  $S_k = U_n * I_k * \sqrt{3}$ . Si en el caso de un convertidor de conmutación automática se refiere la citada potencia de cortocircuito a la potencia activa nominal  $P_{DC}$  suministrada en el lado de la tensión continua, se obtiene la relación de potencia de cortocircuito, que en inglés recibe el nombre de "Short Circuit Ratio", conforme a

$$SCR = \frac{S_k}{P_{DC}} .$$

En el marco de la invención para cada unidad de regulación, es decir para cada convertidor de conmutación automática que se regula con el procedimiento conforme a la invención, la citada relación de potencia de cortocircuito en el margen límite inferior puede ser inferior a 2. De este modo puede tratarse de una red de tensión alterna débil, como se produce por ejemplo a la hora de acoplar parques eólicos marinos a una red de abastecimiento terrestre en su lado hacia la costa.

En el marco de la invención se suministra por ello un procedimiento, en el que los convertidores de las centrales eólicas de un parque eólico estructuran automáticamente una red de tensión alterna con la amplitud y frecuencia de red deseadas, a través de la cual el parque eólico está conectado por ejemplo al rectificador de diodos citado o al convertidor de conmutación externa citado. A este respecto cada convertidor de conmutación externa está conectado a través de un componente inductivo a un punto de acoplamiento común a todos los convertidores (en inglés: "Point of Common Coupling") de la citada red de tensión alterna. Cada convertidor de conmutación automática, que está regulado con ayuda del procedimiento conforme a la invención, está dispuesto por ejemplo en la góndola de la central eólica respectiva. Un convertidor de conmutación externa es por ejemplo un convertidor que está equipado con válvulas de tiristores. Una inductividad es p.ej. también un transformador, un estrangulador, una bobina u otro componente inductivo.

En el marco de la invención en primer lugar se detecta la tensión de red  $U_{VP}$  en el punto de acoplamiento común (Point of Common Coupling) de la red de tensión alterna. Para ello se establece con ayuda de aparatos de medición

y medios de tratamiento de señal la citada tensión alterna como vector espacial  $\vec{u}_{VP}$ , en donde un vector espacial se caracteriza a partir de ahora mediante una flecha dispuesta debajo de la respectiva variable. Las variables complejas están subrayadas. El índice 1 quiere indicar que se trata de una variable de oscilación fundamental. El índice + y el índice - caracterizan la secuencia positiva o la secuencia negativa. El índice || y el índice  $\perp$  indican que las amplitudes complejas discurren en la dirección del o perpendicularmente al vector espacial de la secuencia positiva de oscilación fundamental de la tensión de red en el punto de acoplamiento  $\vec{u}_{VP}$ . Las variables de salida de

los reguladores usados en la invención son variables simples. En el caso de variables complejas con estrellas en la parte superior se trata de variables complejas conjugadas.

En el marco de la invención además del vector espacial de la tensión de red  $\vec{u}_{VP}$  también se establece la corriente del convertidor, en donde también aquí se calcula un vector espacial de corriente  $\vec{i}_{RE}$  a partir de los valores de corriente del convertidor medidos. A la regulación se prefijan además como variables de entrada variables nominales en forma de una potencia activa nominal  $P_{Soll}$  y una frecuencia nominal  $F_{Soll}$ . Los valores nominales pueden prefijarse por ejemplo desde una unidad de control central, como por ejemplo un controlador de parque eólico. Además de esto, sin embargo, por ejemplo cada central eólica puede presentar unidades funcionales para una generación adecuada de los citados valores nominales. Con ayuda de la tensión de red  $\vec{u}_{VP}$  y la corriente del convertidor  $\vec{i}_{RE}$ , que fluye a través del componente inductivo, puede determinarse una potencia activa  $P$ , que a través del componente inductivo se intercambia con la red de tensión alterna débil. Esta potencia activa real se compara con la potencia activa nominal  $P_{Soll}$  prefijada. La diferencia de potencia activa  $\Delta P$  obtenida de esta comparación alimenta, en el marco de la presente invención, tanto a un regulador ortogonal como a un regulador paralelo. La señal de salida del regulador ortogonal se corresponde con un valor que se corresponde a su vez con la magnitud del vector espacial de tensión, que es perpendicular al vector espacial de tensión de la red de tensión alterna en el punto de acoplamiento. Mediante este valor de salida del regulador ortogonal se determina por ello fundamentalmente la potencia activa intercambiada. Esto se debe al acoplamiento inductivo del convertidor de conmutación automática en la red de tensión alterna. El valor de salida del regulador paralelo minimiza en el marco de la invención la potencia reactiva intercambiada. Conforme a la invención está previsto además un regulador de frecuencia, que se usa para que la tensión suministrada por el convertidor de conmutación automática a su conexión de tensión alterna también establezca la frecuencia de la tensión de red en el punto de acoplamiento.

Conforme a la invención se prescinde de un regulador de corriente directo. Esto hace posible un funcionamiento estable en una red de tensión alterna eléctrica, que no presenta una impedancia de red muy alta o no lineal y además tampoco una fuente de energía propia. En el marco de la invención la potencia reactiva de la unidad de regulación no se regula directamente y representa de este modo un grado de libertad en el sistema.

Se añade ventajosamente al valor de salida del regulador ortogonal y/o al valor de salida del regulador paralelo y/o al valor de salida del regulador de frecuencia un valor de control previo, con lo que se obtiene un valor de adición del regulador de control previo ortogonal, un valor de adición del regulador de control previo paralelo o un valor de adición del regulador de control previo de frecuencia. Mediante el control previo se mejora considerablemente la dinámica de la regulación.

Conforme a un perfeccionamiento oportuno de la invención con relación a lo mencionado se combinan entre sí de una forma aditiva el valor de adición del regulador de control previo ortogonal y el valor de adición del regulador de control previo paralelo multiplicados por  $j$ , en donde de la combinación aditiva se establece una amplitud  $|z|$  y una frecuencia previa de una tensión del convertidor  $\vec{u}_{RE}$ , que se corresponde con una tensión del convertidor  $\vec{u}_{RE}$ , que es responsable de la transmisión de una potencia activa, que en lo posible se corresponde con la potencia activa nominal y que al mismo tiempo minimiza la potencia reactiva.

Conforme a otro perfeccionamiento relacionado con lo mencionado se combina el valor de adición del regulador de control previo de frecuencia de una forma aditiva con una componente de frecuencia previa, con lo que se obtiene la frecuencia de la tensión del convertidor a ajustar.

Ventajosamente el valor de adición del regulador de control previo de frecuencia comprende de una forma aditiva la salida de un regulador de sincronización de fase, que tiene cuenta el abastecimiento de la red de tensión alterna a través de la línea de abastecimiento auxiliar.

Conforme a un perfeccionamiento conveniente con relación a lo mencionado se conforma la diferencia entre la potencia activa auxiliar nominal  $P_{Aux,Soll}$  y la potencia auxiliar  $P_{Aux}$  transmitida a través de la línea de abastecimiento auxiliar, con lo que se obtiene un valor diferencial de potencia activa auxiliar  $\Delta P_{Aux}$  y el valor diferencial de potencia activa auxiliar  $\Delta P_{Aux}$  se alimenta como variable de entrada al regulador de sincronización de fase. De este modo es posible, en el marco de la invención, con ello incluyendo una limitación en su potencia, tener en cuenta un determinado abastecimiento de energía eléctrica de la red de tensión alterna desde el exterior. Sin embargo, esto sólo es posible conforme a la invención si la fase está disponible con un cierto grado de libertad durante la regulación. Por ello se prescinde ventajosamente del uso habitual de la transformada sobre un parque eólico a la hora de establecer el vector espacial de tensión y el vector espacial de corriente. Conforme a la invención se aplican más bien de forma preferida la llamada transformada de Fourier discreta DFT y la transformada de Fourier discreta inversa IDFT.

Conforme a otra variante el valor de adición del regulador de control previo de frecuencia comprende de una forma aditiva un ángulo de compensación  $\phi_{KOMP}$ , que compensa los efectos de tiempo muerto en el circuito de regulación del convertidor. Al tenerse en cuenta los efectos de tiempo muerto se aumenta la precisión del regulador.

De la salida negativa del regulador ortogonal se sustrae convenientemente un valor de control previo conforme a la

$$\vec{u}_{\rightarrow RE, VOR, \perp} = -j \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{P_{Soll} \cdot X_K}{|\vec{u}_{\rightarrow VP, 1+}|}$$

5 fórmula

A la salida negativa del regulador paralelo se añade además convenientemente el valor de la tensión de red  $\vec{u}_{\rightarrow VP}$ .

Conforme a otra variante se añade además al valor de salida del regulador de frecuencia el valor de frecuencia establecido de la tensión de red.

10 Conforme a otra variante se sustrae del valor diferencial de frecuencia  $\Delta f$  un valor nominal suplementario  $C_Q \cdot Q$ , que se obtiene del producto entre un parámetro de potencia reactiva prefijado  $C_Q$  y una potencia reactiva  $Q$ , establecida a partir de la tensión de red  $\vec{u}_{\rightarrow VP}$  y de la corriente del convertidor  $\vec{i}_{\rightarrow RE}$ .

Conforme a otra variante se sustrae del valor diferencial de frecuencia  $\Delta f$  un valor nominal suplementario  $C_Q \cdot |Q|$ , que se obtiene del producto entre un parámetro de potencia reactiva prefijado  $C_Q$  y un valor de la potencia reactiva  $Q$ , establecido a partir de la tensión de red  $\vec{u}_{\rightarrow VP}$  y de la corriente del convertidor  $i$ .

15 En el marco de la invención se tiene en cuenta convenientemente de la tensión de red  $\vec{u}_{\rightarrow VP}$  solamente la componente de la secuencia positiva  $\vec{u}_{\rightarrow VP, 1+}$  de la oscilación fundamental. Esto simplifica notablemente la regulación.

20 En el marco de la invención se detectan la tensión de red  $\vec{u}_{\rightarrow VP}$  y la corriente del convertidor  $\vec{i}_{\rightarrow RE}$  con ayuda de sensores de medición, cuyas señales de salida se exploran con la obtención de valores de exploración y los valores de exploración se digitalizan, en donde se promedia entre los valores de exploración secuenciales. El procedimiento conforme a la invención, afinado de este modo, se basa en la detección de un vector espacial de tensión mediante unos métodos adecuados del tratamiento de señales, por ejemplo con una transformada de Fourier discreta con una ventana de valor medio, cuyo tamaño de ventana se determina dinámicamente. De este modo se determina el número de valores de exploración y con ello por ejemplo la longitud de transmisión de la ventana deslizante de valor medio mediante el cociente entre frecuencia de exploración y frecuencia de red. Si la frecuencia de exploración es por ejemplo de 5 KHz y la frecuencia de referencia de 50 Hz, se obtiene una longitud de transformada o en otras palabras el número de valores de exploración secuenciales, sobre los que promedia, es 100. Si por el contrario la frecuencia de red es de 51 Hz, sólo se promedia sobre 98 valores de exploración.

30 Otras configuraciones y ventajas convenientes de la invención son objeto de la siguiente descripción de ejemplos de realización, haciendo referencia al dibujo, en donde los mismos símbolos de referencia hacen referencia unos componentes con el mismo efecto, y en donde

la figura 1 muestra una serie del convertidores con la misma estructura, que están conectados respectivamente a través de un componente inductivo a una red de tensión alterna, en donde la red de tensión alterna es una red de tensión alterna débil y presenta una impedancia no lineal,

35 la figura 2 muestra en una representación vectorial la influencia y el modo de operación del regulador de frecuencia y del regulador ortogonal,

la figura 3 muestra el procedimiento conforme a la invención, y

la figura 4 muestra esquemáticamente un ejemplo de realización del parque eólico conforme a la invención y del convertidor de conmutación automática conforme a la invención.

40 La figura 1 muestra en una exposición en perspectiva una serie del convertidores de conmutación automática 1, que está conectada a través de un componente inductivo 2 a un punto de acoplamiento 3 de una red de tensión alterna 4, cuya impedancia se muestra en el diagrama 5. Puede verse que en la red de tensión alterna 4 primero no fluye

ninguna corriente  $I$ , hasta que tensión de red  $\vec{u}_{\rightarrow VP}$  alcanza una tensión umbral. A continuación aumenta la corriente conforme aumenta la tensión, aquí a modo de ejemplo, linealmente. Una impedancia no lineal de este tipo refleja el comportamiento de una red de tensión alterna, que está conectada a través de una conexión de tensión continua a la red de abastecimiento  $U_{red}$ , en donde la conexión de tensión continua presenta un rectificador de diodos no mostrado. A este respecto la conexión de tensión alterna del rectificador de diodos está conectada a la red de tensión alterna 4. El citado rectificador de diodos está conectado con sus conexiones de tensión continua a un circuito intermedio de tensión continua o a otra red de tensión continua, que a su vez está conectada a la red de abastecimiento  $U_{red}$  a través de otro convertidor. Estas topologías de red se usan por ejemplo para enlazar un parque eólico dispuesto en el mar o en un lago. A causa de la conexión de tensión continua la potencia generada por el parque eólico puede transmitirse también a grandes distancias, con pocas pérdidas, a la red de abastecimiento  $U_{red}$  fuerte en tierra.

Cada convertidor de conmutación automática 1 está conectado a un acumulador de energía 6, que se trata por ejemplo de un condensador de un circuito intermedio de tensión continua. En una variante preferida el acumulador de energía 6 forma parte de un circuito intermedio de tensión continua, que se usa para conectar, en el lado de la tensión continua, el convertidor 1 a otro convertidor, que en la figura 1 no se ha representado figurativamente. El convertidor no representado está conectado en el lado de la tensión alterna a un generador, que por ejemplo forma parte de una central eólica. La energía cinética obtenida por las palas de rotor de la central eólica se convierte después mediante el generador en energía eléctrica y esta energía se almacena de forma intermedia en el acumulador de energía 6. El procedimiento conforme a la invención hace posible estructurar la red de tensión alterna 4 con la frecuencia y amplitud deseadas, sin que se necesite para ello una fuente de energía autónoma independiente con una potencia suficientemente alta. En el marco de la invención es, sin embargo, también posible tener en cuenta un abastecimiento de energía auxiliar, que tampoco se representa en la figura 1. Aquí se trata por ejemplo de una conexión de tensión alterna sencilla, que sin embargo está limitada en su tensión, por ejemplo a 6 kV. Con la misma, por ejemplo, ciertamente es posible accionar la orientación las palas de rotor de la central eólica. En el marco de la invención ya no es necesaria una estructura de una red de tensión alterna, para el abastecimiento de energía auxiliar, con la que los convertidores pueden sincronizarse fácilmente.

En el ejemplo de realización de la invención mostrado esquemáticamente en la figura 3 se detecta la tensión de red  $\vec{u}_{\rightarrow VP}$  con ayuda de sensores de medición, que consiste en una red de tensión alterna multifásica. En primer lugar se establece el vector espacial de la tensión de red en el punto de acoplamiento 3 y se somete a una transformada de Fourier discreta (DFT). El vector espacial de la tensión de red se representa aquí en coordenadas polares, en donde se obtiene

$$\vec{u}_{\rightarrow VP,1+} = \underline{u}_{VP} \cdot e^{j2\pi \cdot f_n \cdot t} \quad (1)$$

Después de la transformada de Fourier discreta se determinan la amplitud compleja de la citada tensión de red  $|\underline{z}|$  como la fase que contiene la frecuencia de la tensión de red como  $\arg\{\underline{z}\}$ . Además de esto se detecta también la corriente del convertidor  $\vec{i}_{\rightarrow RE}$  que fluye a través del componente inductivo mediante sensores de medición, que están dispuestos entre el convertidor 1 y el componente inductivo 2. La tercera variable de entrada es, en el ejemplo de realización del procedimiento conforme a la invención, la corriente auxiliar  $\vec{i}_{\rightarrow AUX}$  que fluye a través de la línea de abastecimiento auxiliar 7.

Todas las variables de entrada se afinan mediante un filtro de ajuste fino 8 y a continuación se alimentan al bloque funcional de la citada transformada de Fourier discreta (DFT). En la transformada de Fourier se promedia sobre N valores de exploración, en donde el número de valores de exploración N o en otras palabras la variable de la ventana de promediado se mantiene variable y se hace depender de la frecuencia que se presente respectivamente. Esto se trata posteriormente con más detalle.

El vector complejo de la tensión de red  $\vec{u}_{\rightarrow VP}$  se usa para determinar tanto la fase como argumento angular  $\arg\{\underline{z}\}$  como la amplitud  $|\underline{z}|$ .

Sobre la base de la fórmula

$$S_{RE,VP} = \frac{3}{2} \cdot \vec{u}_{\rightarrow VP} \cdot \vec{i}_{\rightarrow RE}^* = P_{RE,VP} + j \cdot Q_{RE,VP} \quad (2)$$

se determina la potencia aparente  $S_{RE,VP}$ , en donde  $i_{\rightarrow RE}$  se corresponde con la corriente del convertidor. El intercambio de energía de cada unidad de regulación, es decir de cada convertidor 1 con la red de tensión alterna 4, se genera mediante dos componentes en el vector espacial de tensión nominal  $u_{\rightarrow RE}$  del convertidor respectivo. Una de estas componentes es una componente paralela  $u_{\rightarrow RE,\parallel} = c_{\parallel} \cdot u_{\rightarrow VP,1+}$ . La componente ortogonal  $u_{\rightarrow RE,\perp} = j \cdot c_{\perp} \cdot u_{\rightarrow VP,1+}$  discurre perpendicularmente al vector de tensión de red. En el marco de la invención se parte de la base de que la impedancia de acoplamiento  $Z_K$  del componente inductivo 2 para la oscilación fundamental presenta una componente predominantemente inductiva. Este comportamiento puede representarse mediante la fórmula  $Z_K = -R_K + jX_K$  mit  $(X_K/R_K > 1)$ . Con  $i_{\rightarrow RE} = (u_{\rightarrow VP} - u_{\rightarrow RE}) / Z_K$  se obtiene, teniendo solamente en cuenta la secuencia positiva,

5

10

$$S_{RE,VP,1+} = \frac{3}{2} \cdot |u_{VP,1+}|^2 \cdot \frac{[(1-c_{\parallel}) + j \cdot c_{\perp}] \cdot [R_K + j \cdot X_K]}{Z_K^2} \quad (3)$$

y de este modo para la potencia activa que define el intercambio de energía

$$P_{RE,VP,1+} = \frac{3}{2} \cdot \frac{|u_{VP,1+}|^2}{Z_K^2} \cdot [(1-c_{\parallel}) \cdot R_K - c_{\perp} \cdot X_K] \quad (4)$$

Teniendo en cuenta la suposición aquí indicada  $X_K/R_K > 1$  se obtiene

$$P_{RE,VP,1+} = -\frac{3}{2} \cdot \frac{|u_{VP,1+}|^2}{X_K} \cdot c_{\perp} \quad (5)$$

15 Esta relación la usa la unidad de regulación, utilizando el valor nominal para la potencia activa  $P_{Soll}$  como valor de control previo para la componente ortogonal en la tensión nominal:

$$u_{\rightarrow RE,VOR,\perp} = -j \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{P_{Soll} \cdot X_K}{|u_{\rightarrow VP,1+}|} \cdot \frac{u_{\rightarrow VP,1+}}{|u_{\rightarrow VP,1+}|} \quad (6)$$

Además de lo mencionado la unidad de regulación superpone un valor de corrección para compensar imprecisiones para la componente ortogonal en la tensión nominal, utilizando el valor diferencial de potencia activa  $\Delta P$ .

20

$$u_{\rightarrow RE,KOR,\perp} = -j \cdot (K_{P,\perp} \cdot \Delta P + \frac{1}{T_{I,\perp}} \cdot \int \Delta P \cdot dt) \cdot \frac{u_{\rightarrow VP,1+}}{|u_{\rightarrow VP,1+}|} \quad (7)$$

25

Estas dos componentes ortogonales únicamente son eficaces si, interactuando con la red eléctrica 4, aparece una corriente correspondiente. A causa de la característica no lineal 5 de la impedancia, esta corriente no se genera necesariamente. Por ello desde la unidad de regulación, es decir el convertidor 1, la componente paralela en la tensión nominal, adicionalmente al valor de control previo  $u_{\rightarrow RE,VOR,\parallel} = c_{\parallel} \cdot u_{\rightarrow VP,1+} = u_{\rightarrow VP,1+}$  (con  $c_{\parallel} = 1$ ) la potencia reactiva en el punto de acoplamiento se minimiza, complementada con una componente de corrección que es proporcional al valor diferencial de potencia activa  $\Delta P$ . Se obtiene

$$u_{\rightarrow RE,||} = u_{\rightarrow RE,VOR,||} + u_{\rightarrow RE,KOR,||} = \frac{u_{\rightarrow VP,1+}}{u_{\rightarrow VP,1+}} \cdot \left( u_{\rightarrow VP,1+} - K_{P,||} \cdot \Delta P \right) \quad (8)$$

El citado valor de corrección actúa directamente sobre el valor de tensión en el punto de acoplamiento mediante una intensa retroalimentación a través del divisor de impedancia, que está formado por la impedancia de acoplamiento  $Z_K$  y la impedancia de red  $Z_N$ . Para el caso  $i = 0$  se obtiene, a partir de dos ciclos de la retícula de la red y de la

- 5 equiparación de las dos corrientes de la retícula de la red después de la sustitución de los términos individuales  $\frac{(u_{\rightarrow VP} - u_{\rightarrow RE}) / Z_K}{u_{\rightarrow RE}} = \frac{(u_{\rightarrow N} - u_{\rightarrow VP}) / Z_N}{u_{\rightarrow VP}}$  y también

$$u_{\rightarrow VP} = \frac{u_{\rightarrow RE}}{1 + Z_K / Z_N} + u_{\rightarrow N} \cdot \frac{Z_K / Z_N}{1 + Z_K / Z_N} = u_{\rightarrow RE} \cdot \frac{Z_N}{Z_N + Z_K} + u_{\rightarrow N} \cdot \frac{Z_K}{Z_N + Z_K}$$

- 10 La retroalimentación de la componente en  $u_{\rightarrow VP}$  causada por los divisores de impedancia  $\frac{Z_N}{Z_N + Z_K}$  y  $u_{\rightarrow RE}$ , a través de la detección de tensión en la unidad de regulación se hace tanto más débil cuanto más fuerte sea la red, es decir, cuanto menor sea el valor  $Z_N$ . De este modo se incrementa, según una prefijación de  $P_{Soll} < 0$ , en el caso de que  $K_{P||Soll} > 0$ , la tensión en el punto de acoplamiento mediante la retroalimentación, a través del método de promediado antes citado de la detección de tensión.

- La figura 3 muestra las relaciones antes citadas en un diagrama de desarrollo correspondiente a la regulación. Como ya se ha explicado, el vector espacial de la tensión de red en el punto de acoplamiento  $u_{\rightarrow VP}$ , la corriente del
- 15 convertidor  $i_{\rightarrow RE}$  que fluye respectivamente a través del componente inductivo 2 así como, dado el caso, una corriente  $i_{\rightarrow AUX}$  que fluye a través de la línea de conexión auxiliar 7 se usan como variables de entrada para el procedimiento de regulación, en donde el respectivo vector espacial se establece basándose en mediciones. Las citadas variables de entrada se afinan respectivamente en un filtro de ajuste fino 8 y a continuación se someten a una transformada de Fourier discreta DFT. La variable de salida del respectivo bloque funcional DFT puede registrarse como vector complejo, que puede representarse en coordenadas cartesianas de la manera siguiente:

20  $Z_N = x + jy$ . El valor se calcula conforme a  $|z| = \sqrt{x^2 + y^2}$ . El ángulo que forma el vector con el eje x con relación al origen es  $\arg\{z\} = a \tan\left(\frac{x}{y}\right)$ .

- A partir del vector complejo de la tensión de red  $u_{VP}$  se determina mediante un formador de valor 10, por ejemplo de este modo, el valor de la tensión de red y mediante un formador de valor inverso 11 se calcula el valor inverso del
- 25 valor de la tensión de red. Mediante un multiplicador 12 se multiplica el citado valor inverso por el valor nominal de la potencia activa  $P_{Soll}$  y a continuación se multiplica por el parámetro  $C_p$  mediante el multiplicador 13, de tal manera

$$\frac{u_{VP,1+}}{|u_{VP,1+}|}$$

que se obtiene un valor conforme a la fórmula (6). El término  $\frac{u_{VP,1+}}{|u_{VP,1+}|}$  en la fórmula 6 se corresponde con un valor sobre una unidad circular, es decir un ángulo en sí mismo, que no es necesario tener en cuenta en este punto de la regulación.

- 30 Una unidad de cálculo de potencia aparente 14 suministra una señal de salida que se corresponde con la potencia aparente que se intercambia a través del respectivo componente inductivo 2, en donde como variables de entrada de la unidad de cálculo de potencia aparente se usan el vector complejo de la tensión de red  $u_{\rightarrow VP}$  y la componente
- 35 compleja conjugada del vector complejo de la corriente del convertidor  $i_{\rightarrow RE}$ . Las dos variables se multiplican entre sí y a continuación se multiplican por un factor 3/2. La unidad de cálculo de potencia aparente 14 está conectada en el lado de salida a un formador de la parte real 15, que establece la parte real de la potencia aparente, es decir la potencia activa  $P_i$ , y suministra en el lado de salida una señal que se corresponde con la potencia activa  $P$  intercambiada a través del componente inductivo 2. El sumador 16 calcula la diferencia de potencia activa  $\Delta P$



como diferencia P entre la potencia activa nominal  $P_{Soll}$  introducida desde un punto exterior y la potencia activa real P citada, en donde  $\Delta P$  es la variable de entrada para el regulador PI 17. En el lado de salida del regulador PI 17 se suministra por ello una señal que se corresponde con la fórmula (7).

5 El valor negativo del regulador PI (17) y el valor negativo del multiplicador (13) se suman en el sumador 18, en donde el multiplicador 10 mediante multiplicación por j realiza un giro de 90°, de tal manera que el valor de salida del multiplicador se corresponde con el valor ortogonal deseado, que discurre en ángulo recto respecto al vector de la tensión de red. Los valores negativos son el resultado solamente de la elección de la corriente de referencia para  $i_{\rightarrow RE}$  en la figura 1 y se invierten en el caso de la flecha de referencia se gire 180°.

10 Además de esto se suministra un regulador paralelo 20, el cual se trata de un regulador proporcional. Como variable de entrada para el regulador paralelo 20 se usa la diferencia de potencia activa  $\Delta P$ , en donde el valor de salida del regulador paralelo 20 se sustrae mediante el sumador 21 de un valor de control previo, precisamente del valor de la tensión de red  $u_{VP}$  conforme a la fórmula (8). La formación de diferencia se convierte en una formación de suma en el caso de la se invierta en la figura el sentido de la corriente de referencia para  $i_{\rightarrow RE}$ .

15 Las señales de salida del multiplicador 19 y del sumador 21 se suman entre sí mediante el sumador 22, en donde se obtiene un vector complejo  $u_{\rightarrow RE}$ , que se ha representado en la figura 2 en un diagrama de vector. Como ya se ha explicado, el componente paralelo se corresponde lo más exactamente posible con el vector de la tensión de red  $u_{VP}$ , en donde la componente ortogonal, que en la figura 2 se ha designado con el símbolo de referencia 23, también determina fundamentalmente la amplitud del vector espacial de tensión nominal  $u_{\rightarrow RE}$ .

20 Además del ajuste de la amplitud de la tensión de red  $u_{\rightarrow VP}$ , el procedimiento conforme a la invención regula sin embargo también la frecuencia del vector espacial de tensión de red  $u_{\rightarrow VP}$ , en donde se emplea un regulador de frecuencia 23, en el que se trata de nuevo de un regulador PI. De este modo, a partir del vector espacial de la tensión de red  $u_{\rightarrow VP}$  se establece la variación de la frecuencia de red mediante el formador de argumento 24 y el módulo descargador 25, a los que está post-conectado un filtro de ajuste fino 26. Con ayuda de la variación de frecuencia se fija en el formador de la ventana de promediado 9 la longitud de transformada N para promediar la DFT y la transformada de Fourier discreta inversa IDFT. La variación de frecuencia y una frecuencia nominal  $f_n$  prefijada se sustraen de un valor nominal de frecuencia  $F_{Soll}$  en el sumador 27.  $F_n$  es por ejemplo 50 Hz o 60 Hz.

25 Como valor de control previo se multiplica la parte imaginaria de la potencia aparente mediante el multiplicador 28 por un parámetro de sistema  $C_Q$ , en donde el citado producto se sustrae también del valor nominal de frecuencia. Alternativamente también puede multiplicarse el valor de la parte imaginaria de la potencia aparente por un parámetro de sistema  $C_Q$ . La salida del sumador 27 se usa como variable de entrada para el regulador de frecuencia 23, de tal manera que conforme a la fórmula

$$\varphi_{RE,\Delta F} = K_{P,F} \cdot \Delta F + \frac{1}{T_{I,F}} \cdot \int \Delta F \cdot dt \quad (9)$$

35 se obtiene un ángulo de giro adicional como valor de salida, que se conecta posteriormente mediante adición a la salida del formador de argumento 29 en el sumador 30. Al valor de salida del sumador 30 se conecta posteriormente mediante el sumador 31 un ángulo de compensación  $\varphi_{KOMP}$ , de donde se obtiene un ángulo de giro suplementario  $\Delta F$ , que se conecta posteriormente al ángulo del regulador de amplitud mediante el sumador 32.

La influencia de la regulación de frecuencia se ha representado esquemáticamente en la figura 2. La regulación de frecuencia produce un giro de la tensión del convertidor  $u_{\rightarrow RE}$ , suministrada por el convertidor, en  $u_{\rightarrow RE} * e^{(j\varphi_{RE,\Delta F})}$  . La proyección de  $u_{\rightarrow RE} * e^{(j\varphi_{RE,\Delta F})}$  en el vector de la tensión de red  $u_{VP}$  es menor que la proyección de  $u_{\rightarrow RE}$  en  $u_{VP}$ , de tal manera que se obtiene una variación de la tensión paralela  $|\Delta u|$ , que se corresponde aproximadamente con la potencia reactiva  $Q_{VP}$  intercambiada a través del componente inductivo 2.

El giro del vector espacial de tensión nominal  $\vec{u}$  produce por ello una variación de la potencia reactiva  $Q_{VP}$ . Por ello puede conseguirse una estabilización de la regulación de frecuencia de cada unidad de regulación, en particular en funcionamiento múltiple, mediante una corrección del valor nominal  $F_{Soll}$  mediante una componente dependiente de  $Q_{VP}$  o, alternativamente, de  $Q_{VP}$ .

5 La regulación de la frecuencia define la fase de la tensión hasta un valor constante  $\varphi_0$ . Este grado de libertad puede usarse para cumplir una tarea reguladora adicional, por ejemplo el suministro de potencia activa en el punto de conexión 3 mediante una conexión auxiliar adicional 7, en donde la potencia activa auxiliar  $P_{AUX}$  suministrada se obtiene de la parte real (Re) de la potencia aparente auxiliar  $S_{AUX}$ , que se calcula conforme a

$$S_{Aux} = 3/2 \{ \underset{\rightarrow VP}{u} \cdot \underset{\rightarrow Aux}{i} \}$$

10 El valor de la potencia activa auxiliar  $P_{AUX}$  se corresponde con la señal de salida del formador de parte real 33. A la salida del sumador 34 se obtiene de este modo una señal, que se corresponde con  $\Delta P_{Aux} = P_{Soll,Aux} - P_{Au}$ .  $P_{Soll,Aux}$  es una variable nominal de la prefijación prefijada desde cualquier punto, que procede por ejemplo de una regulación central del parque eólico, que en inglés recibe también el nombre de "Park Pilot". Esta señal  $\Delta P_{Aux}$  se alimenta a un regulador de sincronización de fase 35, que en el lado de salida genera una señal que se corresponde con la fórmula

$$\varphi_{RE,Aux} = K_{P,Aux} \cdot \Delta P_{Aux} + \frac{1}{T_{I,Aux}} \cdot \int \Delta P_{Aux} \cdot dt \quad (10)$$

15 Esta señal de salida se alimenta al sumador 32 y de este modo se conecta adicionalmente a la señal de salida del regulador de frecuencia.

20 La figura 4 muestra un ejemplo de realización del parque eólico 3 conforme a la invención, que está diseñado para generar una potencia eléctrica mediante la acción del viento. Como se ha indicado mediante las tres líneas onduladas en la figura, el parque eólico 36 allí mostrado está dispuesto en un lago o en el mar y posee varias centrales eólicas 37, que están equipadas respectivamente con un rotor que presenta unas palas de rotor 38, que se hace girar mediante el viento. El giro de las palas de rotor 38 se aplica a un generador no representado en la figura que, en el lado de salida, suministra una tensión alterna. El generador está conectado a un convertidor 39, que actúa como rectificador y está conectado en el lado de la tensión continua al convertidor 1 de conmutación automática conforme a la invención, como unidad de regulación para el procedimiento conforme a la invención. La conexión de tensión continua 40, que se extiende entre los convertidores 1 y 39 está equipada con el acumulador de energía 6 citado, que sin embargo no se ha representado aquí en la figura. La tensión que cae en el acumulador de energía 6 se regula mediante el convertidor 39 en la forma habitual, conocida por el técnico. A través de un transformador, que puede entenderse como inductividad 2, cada convertidor de conmutación automática 1 está conectado a la red de tensión alterna 4 en el lado del mar. La tensión y frecuencia de la red de tensión alterna 4 se ajustan mediante el procedimiento de regulación conforme a la invención. Aquí la tensión está situada ventajosamente en el margen de tensión media (1 kV a 50 kV). La red de tensión alterna 4 está conectada a través de otro transformador 41 al rectificador de diodos 42. El mismo está dispuesto en el lado del mar, cerca del parque eólico 36. El transformador de alta tensión 41 genera una corriente alterna de alta tensión de algunos cientos de kilovoltios. El rectificador de diodos 42 forma parte de una conexión de tensión continua, que comprende un circuito intermedio de tensión continua 43 y un oscilador 44 dispuesto en tierra. El oscilador 44 está conectado a la red de abastecimiento terrestre a través del transformador 45. Toda la instalación puede estar equipada con otros grupos constructivos no mostrados aquí como estranguladores, filtros, fusibles, interruptores o dispositivos de conmutación. Los convertidores 1 y 39 están dispuestos conjuntamente en una góndola en la respectiva central eólica 37.

40

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para regular un convertidor de conmutación automática (1), que está conectado a otros convertidores de conmutación automática (1) mediante su conexión de tensión alterna, a través de un componente inductivo (2), con un punto de acoplamiento (3) común a todos los convertidores (1) de una red de tensión alterna (4), en el que
- a partir de una tensión de red  $\underline{u}_{VP}$  establecida en el punto de acoplamiento (3) y una corriente del convertidor  $\underline{i}_{RE}$  establecida que fluye a través del componente inductivo (2), se determinan una potencia activa P y una frecuencia  $f_N$ ,
  - 10 - se forman la diferencia entre la potencia activa P y una potencia activa nominal prefijada  $P_{Soll}$ , para la obtención de un valor diferencial de potencia activa  $\Delta P$  y
  - se forman la diferencia entre la frecuencia  $f_N$  y una frecuencia nominal prefijada  $F_{Soll}$ , para la obtención de un valor diferencial de frecuencia  $\Delta f$ ,
  - en donde el valor diferencial de potencia activa  $\Delta P$  alimenta tanto a un regulador ortogonal (17) como a un regulador paralelo (20), y
  - 15 - en donde para ajustar la amplitud de la tensión de red con el valor de salida del regulador ortogonal (17) se determina la potencia activa intercambiada entre el convertidor (1) y el punto de acoplamiento (13), y con el valor de salida del regulador paralelo (20) se minimiza la potencia reactiva intercambiada entre el convertidor (1) y el punto de acoplamiento (3),
  - 20 - en donde el valor diferencial de frecuencia  $\Delta f$  alimenta a un regulador de frecuencia (23) y el valor de salida del regulador de frecuencia (23) se combina con el valor de salida del regulador ortogonal (17) y el valor de salida del regulador paralelo (20), en donde al mismo tiempo se minimiza el valor diferencial de frecuencia  $\Delta f$ .
- 25 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque se añade al valor de salida del regulador ortogonal (17) y/o al valor de salida del regulador paralelo (20) y/o al valor de salida del regulador de frecuencia (23) un valor de control previo, con lo que se obtiene un valor de adición del regulador de control previo ortogonal, un valor de adición del regulador de control previo paralelo o un valor de adición del regulador de control previo de frecuencia.
3. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado porque se combinan entre sí de una forma aditiva el valor de adición del regulador de control previo ortogonal y el valor de adición del regulador de control previo paralelo multiplicados por j, y de la combinación aditiva se establece la amplitud |z| y una fase previa de una tensión del
- 30 convertidor  $\underline{u}_{\rightarrow RE} = |z| \cdot e^{j \cdot \arg\{z\}}$ , que se corresponde con una tensión del convertidor, que es responsable de la transmisión de una potencia activa P, que en lo posible se corresponde con la potencia activa nominal  $P_{Soll}$  y con la que se minimiza la potencia reactiva.
- 35 4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado porque se combina el valor de adición del regulador de control previo de frecuencia de una forma aditiva a la fase previa, con lo que se obtiene la fase de la tensión del convertidor a ajustar.
5. Procedimiento según la reivindicación 4, caracterizado porque el valor de adición del regulador de control previo de frecuencia comprende de una forma aditiva la salida de un regulador de sincronización de fase (35), que tiene en cuenta el abastecimiento de la red de tensión alterna a través de una línea de abastecimiento auxiliar (7).
- 40 6. Procedimiento según la reivindicación 5, caracterizado porque se forma la diferencia entre una potencia activa auxiliar nominal  $P_{Aux,Soll}$  y la potencia auxiliar  $P_{Aux}$  transmitida a través de la línea de abastecimiento auxiliar, con lo que se obtiene un valor diferencial de potencia activa auxiliar  $\Delta P_{Aux}$  y el valor diferencial de potencia activa auxiliar  $\Delta P_{Aux}$  se alimenta como variable de entrada al regulador de sincronización de fase (35).
- 45 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 4 a 5, caracterizado porque el valor de adición del regulador de control previo de frecuencia comprende de una forma aditiva un ángulo de compensación  $\phi_{KOMP}$ , que compensa los efectos de tiempo muerto en el circuito de regulación del convertidor (1).

8. Procedimiento según la reivindicación 2 ó 3, caracterizado porque de la salida negativa del regulador ortogonal

$$u_{\rightarrow RE, FOR, \perp} = -j \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{P_{Soil} \cdot X_K}{|u_{\rightarrow VP, 1+}|}$$

(17) se sustrae un valor de control previo conforme a la fórmula

9. Procedimiento según la reivindicación 2 ó 3, caracterizado porque a la salida negativa del regulador paralelo (20)

5 se añade además el valor de la tensión de red  $|u_{\rightarrow VP}|$  o, en el caso de la flecha de referencia de corriente inversa para  $i_{\rightarrow RE}$ , la salida positiva del regulador paralelo.

10. Procedimiento según la reivindicación 2 ó 3, caracterizado porque se añade además al valor de salida del regulador de frecuencia (23) el valor de frecuencia establecido de la tensión de red  $u_{\rightarrow VP}$  como valor de control previo.

10 11. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque se sustrae del valor diferencial de frecuencia  $\Delta f$  un valor nominal suplementario  $C_Q \cdot Q$ , que se obtiene del producto entre un parámetro de potencia reactiva prefijado  $C_Q$  y una potencia reactiva  $Q$  o su valor  $|Q|$ , establecida(o) a partir de la tensión de red  $u_{\rightarrow VP}$  y de la corriente del convertidor  $i_{\rightarrow RE}$ .

15 12. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque de la tensión de red  $u_{\rightarrow VP}$  se tiene en cuenta solamente la componente de la secuencia positiva de la oscilación fundamental.

13. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque se detectan la tensión de red  $u_{\rightarrow VP}$  y la corriente del convertidor  $i_{\rightarrow RE}$  con ayuda de sensores de medición, cuyas señales de salida se exploran con la obtención de valores de exploración y los valores de exploración se digitalizan, en donde se promedia entre N valores de exploración digitalizados secuenciales.

20 14. Procedimiento según una de las reivindicaciones 4 a 5, caracterizado porque la red de tensión alterna (4) está conectada a una red de abastecimiento  $U_{red}$  que presenta una fuente de energía a través de una conexión de tensión continua (42, 43, 44), en donde la conexión de tensión continua (42, 43, 44) comprende un rectificador de diodos (42), que está conectado a través de la conexión de tensión continua (42, 43, 44) a otro convertidor (44), que está conectado a la red de abastecimiento  $U_{red}$ .

25 15. Convertidor de conmutación automática (1) para transmitir una potencia con una conexión de tensión alterna para conectar una red de tensión alterna de alta tensión (4), una conexión de tensión continua para conectar una red de tensión continua (40) y una unidad de regulación, en donde la unidad reguladora está conectada a unos conmutadores semiconductores de potencia conectables y desconectables y está diseñada para ajustar la transmisión de la potencia con ayuda de un procedimiento conforme a una de las reivindicaciones 1 a 13.

30 16. Parque eólico (36) eólico con un gran número de aerogeneradores (37), en donde cada aerogenerador (37) presenta un convertidor de conmutación automática (1) conforme a la reivindicación 14, que está diseñado para conectarse a la red de tensión alterna (4).

35 17. Parque eólico (3) según la reivindicación 16, caracterizado porque los convertidores de conmutación automática (1) están conectados a una red de abastecimiento que presenta una fuente de energía a través de la red de tensión alterna (4) y de una conexión de tensión continua (42, 43, 44), en donde la conexión de tensión continua comprende un rectificador de diodos (42), que está conectado a través de la red de tensión continua (43) a otro convertidor (44), que está conectado a la red de abastecimiento  $U_{red}$ .

FIG 1

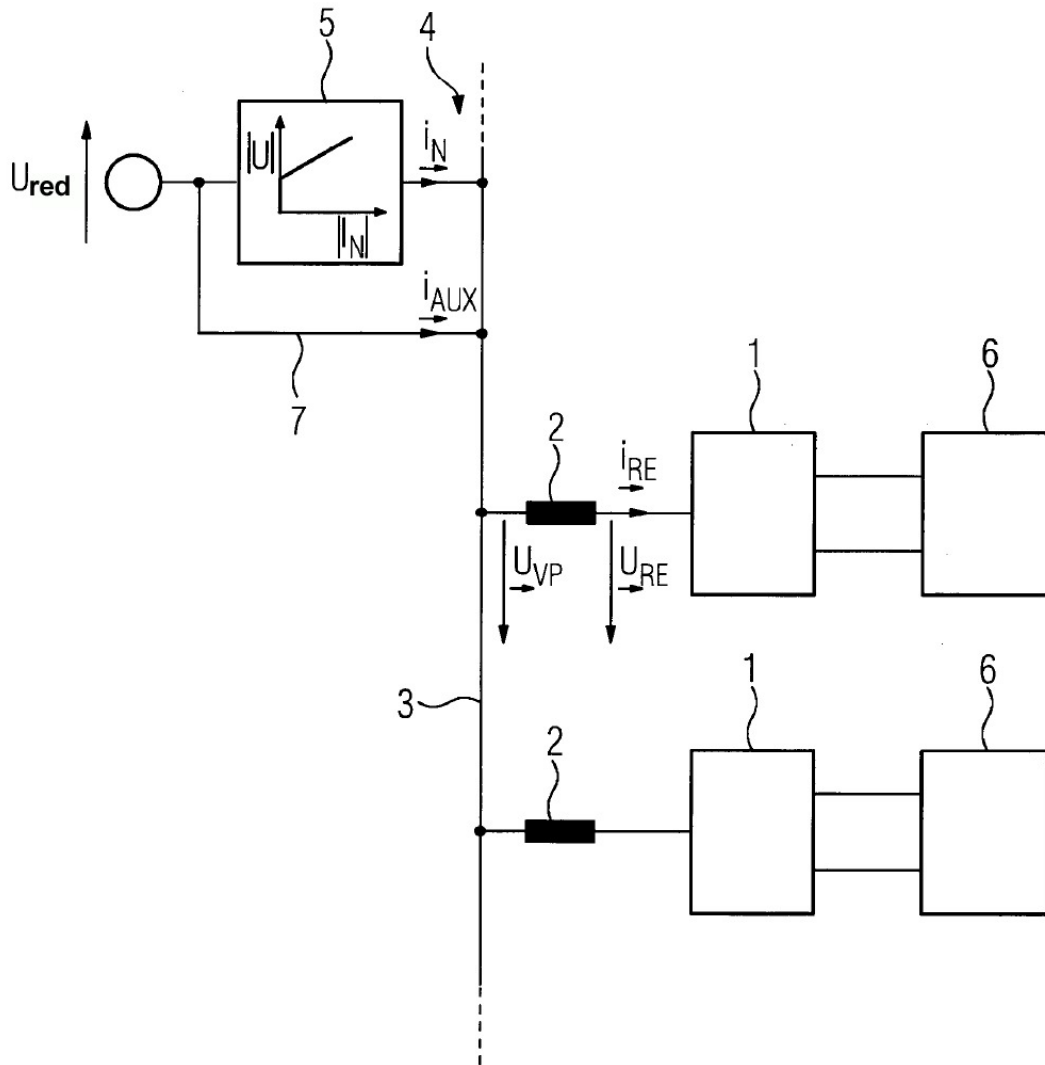


FIG 2

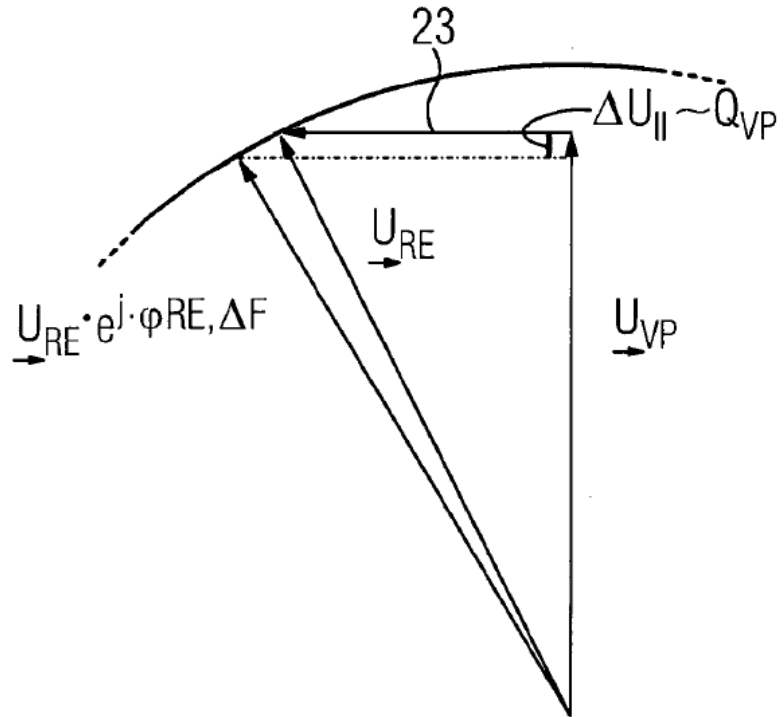


FIG 3

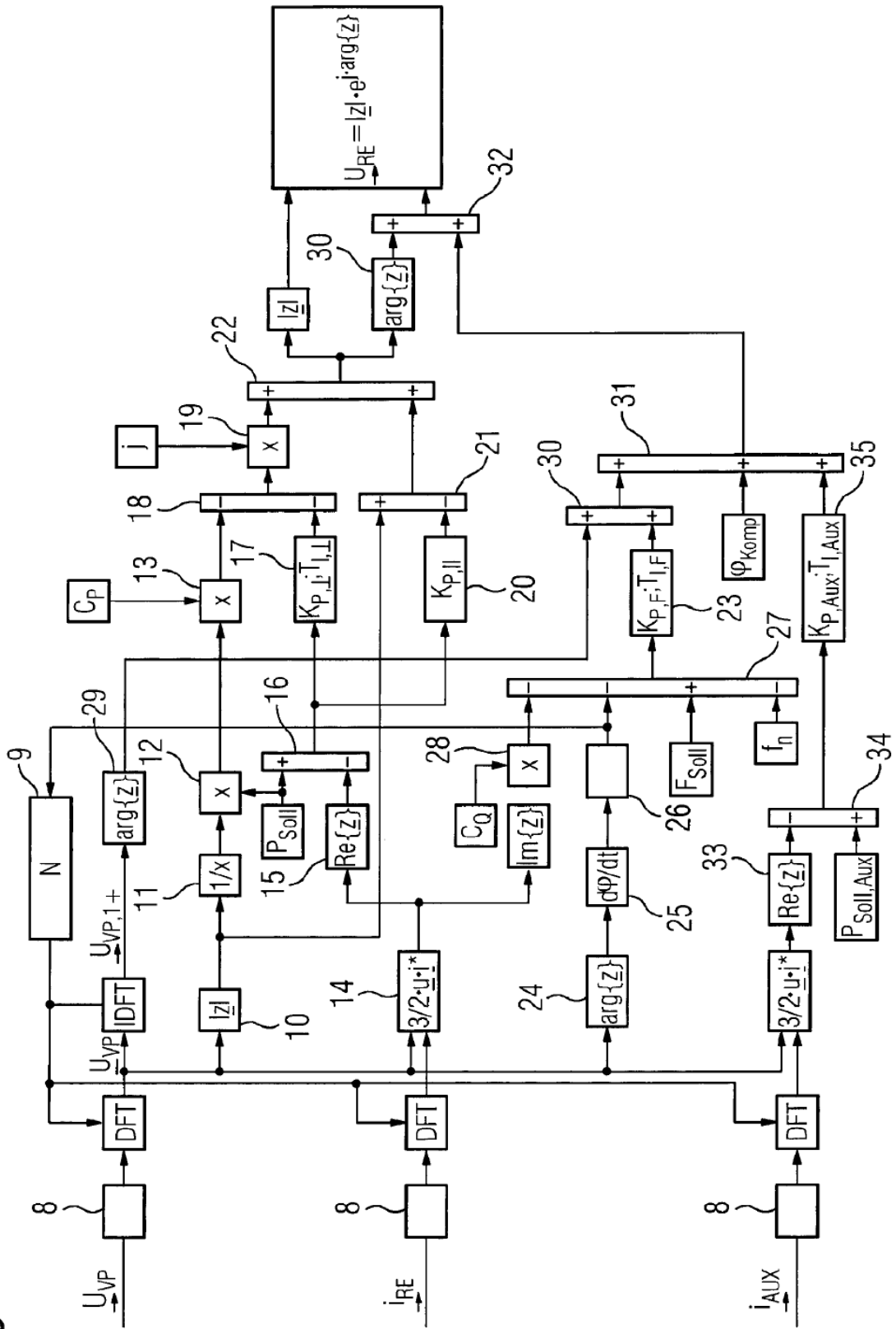


FIG 4

