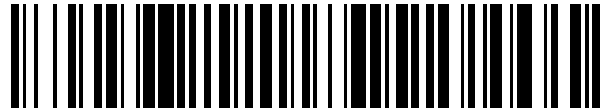


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 428 390**

51 Int. Cl.:

H02J 3/18

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.05.2006 E 06761928 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.08.2013 EP 1880459**

54 Título: **Sistema de control de potencia de un parque eólico**

30 Prioridad:

13.05.2005 US 680812 P
13.05.2005 EP 05010542

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.11.2013

73 Titular/es:

SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
WITTELSBACHERPLATZ 2
80333 MÜNCHEN, DE

72 Inventor/es:

STIESDAL, HENRIK

74 Agente/Representante:

ZUAZO ARALUZE, Alexander

ES 2 428 390 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

Sistema de control de potencia de un parque eólico

5 La presente invención se refiere a un parque eólico que comprende varias turbinas eólicas conectadas a una red de distribución eléctrica, que deben accionarse con un factor de potencia solicitado o una potencia reactiva solicitada, y a un método para controlar el factor de potencia dinámica o la potencia reactiva del parque eólico.

10 Durante la última década ha aumentado significativamente la fracción de energía añadida a las redes de distribución de potencia por los parques eólicos. Por tanto, también es necesario cada vez más controlar los parques eólicos que entregan energía a las redes de distribución eléctrica con respecto a varios parámetros que son importantes para que la red de distribución eléctrica funcione perfectamente. Además de la tensión y la frecuencia de la potencia entregada a la red de distribución eléctrica, también puede ser importante proporcionar, a petición del operador del sistema eléctrico, una determinada potencia reactiva o un determinado factor de potencia. La potencia reactiva es la
15 potencia que requieren los usuarios inductores y capacitivos para aumentar sus campos magnéticos y eléctricos, respectivamente. Con una corriente alterna, tales campos magnéticos y eléctricos aumentarán y disminuirán periódicamente, lo que conduce a un flujo de potencia reactiva desde y hacia los generadores eléctricos. El factor de potencia es el coseno del ángulo de fase entre tensión y corriente.

20 Hay que compensar las variaciones en la demanda de potencia reactiva en la red de distribución eléctrica a través de la potencia reactiva proporcionada por los generadores de potencia. Siempre que la potencia entregada a las redes de distribución eléctrica por los parques eólicos sea sólo una fracción mínima de la potencia total entregada a las redes de distribución, no sería necesario reaccionar a las demandas de potencia reactiva o a las demandas de factor de potencia de la red de distribución por los parques eólicos. Sin embargo, con una fracción cada vez mayor de potencia alimentada a las redes de distribución eléctrica por los parques eólicos, el control del factor de potencia
25 dinámica o un control de potencia reactiva dinámica de los parques eólicos se vuelve cada vez más importante.

El control del factor de potencia dinámica de los parques eólicos se implementa a menudo con baterías de condensadores montados en turbinas eólicas individuales. Los condensadores se conectan a y se desconectan de la
30 red de distribución para proporcionar la potencia reactiva que sea necesaria para alcanzar el factor de potencia especificado. El control del factor de potencia dinámica también puede implementarse mediante una disposición en la que las turbinas eólicas individuales están equipadas con un convertidor electrónico de potencia que convierte parte de o toda la electricidad suministrada por la turbina eólica. El convertidor electrónico de potencia de la turbina eólica individual está programado para controlar el factor de potencia de la electricidad suministrada por la turbina
35 eólica.

Para ambos tipos de sistema de control del factor de potencia, el factor de potencia deseado se proporciona normalmente como señal desde un sistema SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) central. El operador del sistema eléctrico envía una petición al parque eólico de un determinado factor de potencia y el sistema
40 SCADA central reenvía la petición de factor de potencia a las turbinas eólicas individuales, o bien directamente o bien tras una modificación, para compensar la contribución del factor de potencia de la infraestructura eléctrica del parque eólico. El factor de potencia se controla localmente en las turbinas eólicas individuales mediante ajuste del factor de potencia de la electricidad suministrada por las turbinas eólicas individuales para que corresponda al factor de potencia solicitado por el sistema SCADA. Una disposición de este tipo para un control de potencia dinámica se describe, por ejemplo, en el documento US 5.083.039, que describe una turbina eólica con control del factor de potencia dinámica, enviando señales de control a los convertidores electrónicos de potencia de las turbinas eólicas. Los convertidores electrónicos de potencia se controlan entonces localmente de manera que el factor de potencia entregado por la turbina eólica local se cambia modificando la proporción de corriente activa y reactiva suministrada a la red de distribución mediante el módulo inversor del convertidor electrónico de potencia.
50

Un sistema de control del factor de potencia dinámica tal como se ha expuesto anteriormente requiere un sistema SCADA con conexiones funcionales y de reacción rápida a las turbinas eólicas individuales. Si la comunicación individual del parque eólico es lenta o deficiente, el control de potencia dinámica no funcionará perfectamente. Además, a menos que todas las turbinas estén operando con la misma salida de potencia activa, lo cual será raramente el caso si la velocidad del viento no es lo suficientemente alta para hacer que todas las turbinas eólicas del parque operen a capacidad nominal, la potencia reactiva suministrada por una turbina eólica individual cambiará proporcionalmente con la potencia activa suministrada por la turbina eólica individual. Esto significa que algunas turbinas eólicas proporcionarán una proporción significativamente mayor de potencia reactiva que otras, lo que a su vez conduce a un flujo de corriente en el parque eólico menos equilibrado y provoca pérdidas mayores de lo que
60 podría conseguirse con un flujo de corriente más equilibrado.

L. Holdsworth, *et. al.* describen "a direct solution method for initializing doubly-fed induction wind turbines in power system dynamic models" en IEE Proc.-Gener. Trasm. Distrib., vol. 150, n.º 3, mayo de 2003. En este modelo, la turbina eólica está representada como nudo PQ. El modelo usa una estrategia de control de extracción de potencia óptima (control de velocidad) y corrección del factor de potencia local. Los resultados del método de solución directa son las tensiones de rotor inyectadas para controlar la turbina eólica. Además, se describe un modelo en el que la
65

estrategia de control se modifica con respecto al control de la tensión en los bornes. En un control de la tensión en los bornes, a diferencia del control del factor de potencia o al control de la potencia reactiva, se controla la tensión de salida del parque eólico con respecto al valor solicitado por el operador del sistema eléctrico.

5 Un primer objetivo de la presente invención es proporcionar un método mejorado para controlar el factor de potencia dinámica o la potencia reactiva de un parque eólico.

Un segundo objetivo de la presente invención es proporcionar un parque eólico que permita un control mejorado del factor de potencia dinámica o de la potencia reactiva.

10 El primer objetivo se resuelve mediante un método para controlar el factor de potencia dinámica o la potencia reactiva de un parque eólico que comprende varias turbinas eólicas, según la reivindicación 1. El segundo objetivo se resuelve mediante un parque eólico que comprende varias turbinas eólicas, según la reivindicación 8. Las reivindicaciones dependientes definen desarrollos adicionales de la presente invención.

15 La invención define un método para controlar el factor de potencia dinámica o la potencia reactiva de un parque eólico. El parque eólico comprende varias turbinas eólicas conectadas a una red de distribución eléctrica que deben accionarse con un factor de potencia solicitado o una potencia reactiva solicitada. La tensión de salida de la electricidad suministrada por una turbina eólica individual del parque eólico se controla a un punto de referencia de tensión específico. En el método de la invención, se mide el factor de potencia del parque eólico o la potencia reactiva del parque eólico y se compara con el factor de potencia solicitado para la red de distribución eléctrica o la potencia reactiva solicitada para la red de distribución eléctrica, respectivamente, y se ajusta la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica. Además, se regula la tensión de salida de las turbinas eólicas individuales para que corresponda al punto de referencia de tensión específico. Al menos las etapas de ajuste de la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica y de regulación de la tensión de salida de las turbinas eólicas individuales al punto de referencia de tensión específico se realizan hasta que el factor de potencia o la potencia reactiva de la electricidad suministrada por el parque eólico corresponda al factor de potencia solicitado o a la potencia reactiva solicitada, respectivamente.

20 El parque eólico comprende además una subestación que conecta el parque eólico a la red de distribución eléctrica. La subestación incluye o está conectada a un controlador de subestación que está conectado a o incluye los medios de medición para recibir una señal de diferencia que representa la desviación del factor de potencia del parque eólico con respecto al factor de potencia solicitado o la desviación de la potencia reactiva del parque eólico con respecto a la potencia reactiva solicitada, respectivamente, y a los medios de ajuste para emitir una señal de ajuste. El controlador de subestación establece una señal de ajuste basándose en la señal de diferencia recibida, estableciendo el controlador de subestación de manera iterativa señales de ajuste basándose en una señal de diferencia recibida de manera iterativa.

30 Con un cambio de la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica, cada turbina eólica regulará automáticamente la tensión de la turbina eólica para que coincida con la tensión preestablecida. Esta regulación se realiza variando la proporción de la potencia activa respecto a la potencia reactiva entregada por la turbina eólica individual. Este cambio de las proporciones de potencia reactiva respecto a potencia activa en la turbina eólica individual cambia de manera conjunta la proporción de la potencia reactiva respecto a la potencia activa de la electricidad suministrada por el parque eólico. Esto continúa hasta que se alcance el factor de potencia deseado o la potencia reactiva deseada, respectivamente.

35 Debe indicarse que medir el factor de potencia del parque eólico y compararlo con el factor de potencia solicitado o medir la potencia reactiva del parque eólico y compararla con la potencia reactiva solicitada, respectivamente, también puede repetirse cuando se repite el ajuste de la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica y la regulación de la tensión de salida de las turbinas eólicas individuales. Además, las etapas pueden repetirse en etapas discretas o continuamente hasta que el factor de potencia de la electricidad suministrada por el parque eólico corresponda al factor de potencia solicitado, o la potencia reactiva de la electricidad suministrada por el parque eólico corresponda a la potencia reactiva solicitada, respectivamente.

40 El método de la invención tiene las siguientes ventajas:

45 1. El control del factor de potencia dinámica es independiente de un sistema SCADA y sus conexiones funcionales y de reacción rápida a las turbinas eólicas individuales. Incluso aunque la comunicación interna del parque eólico sea lenta o deficiente, no se verá afectado el control del factor de potencia dinámica o el control de la potencia reactiva según el método de la invención.

50 2. Puesto que todas las turbinas eólicas están operando con la misma tensión de salida, la potencia reactiva suministrada por una turbina eólica individual no cambia con la potencia activa suministrada por la turbina eólica individual no con mucho tanto como en los sistemas de control del factor de potencia conocidos a partir del estado de la técnica. Esto significa que la mayoría de turbinas en el parque eólico proporcionarán potencia reactiva dentro

de un determinado intervalo que no es tan amplio como en el caso de la regulación del factor de potencia implementada a nivel de turbina eólica individual. Por tanto, el método de la invención permitirá un flujo de corriente mejor equilibrado en el parque eólico, que conduce a menores pérdidas de infraestructura.

- 5 3. Un operador de sistema eléctrico puede especificar valores deseados de o bien factor de potencia o bien potencia reactiva. En principio, también puede especificar valores deseados de tensión.

10 Para la etapa de ajuste de dicha proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica puede usarse una toma de transformador principal. Sin embargo, un operador de sistema eléctrico puede desear una regulación más precisa del factor de potencia de lo que puede conseguirse mediante ajuste incremental, o gradual, de la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica por medio del cambiador de tomas del transformador principal. Tal regulación más precisa puede conseguirse si la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica se ajusta adicionalmente mediante el uso de un control del factor de potencia dinámica complementario, por ejemplo en forma de batería de condensadores ajustable.

15 Si las turbinas eólicas individuales están equipadas con convertidores electrónicos de potencia que convierten parte de o toda la electricidad suministrada por la turbina eólica, los convertidores electrónicos de potencia de las turbinas eólicas individuales pueden estar programados para controlar la tensión de salida de la electricidad suministrada por sus turbinas eólicas a dicho punto de referencia de tensión específico y para regular la tensión de salida de su turbina eólica para que corresponda a dicho punto de referencia de tensión específico. Como en muchos parques eólicos se usan turbinas eólicas de velocidad variable y las turbinas eólicas de velocidad variable están equipadas habitualmente con convertidores electrónicos de potencia, esta implementación de regular la tensión de salida de una turbina eólica individual a un punto de referencia de tensión puede conseguirse con un esfuerzo relativamente pequeño.

20 El método de la invención permite más flexibilidad si el punto de referencia de tensión al que se regula la tensión de salida de las turbinas eólicas individuales es ajustable.

30 Un parque eólico de la invención con varias turbinas eólicas para su conexión de manera conjunta a una red de distribución eléctrica comprende turbinas eólicas individuales equipadas con un convertidor electrónico de potencia para convertir parte de o toda la electricidad suministrada por la turbina eólica. Los convertidores electrónicos de potencia están equipados con controladores programados para controlar la tensión de salida de la electricidad suministrada por la turbina eólica a un punto de referencia de tensión específico. Comprende además medios para medir el factor de potencia del parque eólico o la potencia reactiva del parque eólico y compararlo o compararla con un factor de potencia solicitado o una potencia reactiva solicitada, respectivamente. Además, comprende medios de ajuste para ajustar la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica. Las turbinas eólicas individuales están equipadas con medios de regulación que están programados para regular la tensión de salida en la turbina eólica individual para que corresponda al punto de referencia de tensión específico.

40 El parque eólico de la invención está diseñado para realizar el método de la invención para controlar el factor de potencia dinámica o la potencia reactiva del parque eólico. En el parque eólico de la invención, no es necesario comunicar el factor de potencia solicitado o la potencia reactiva solicitada, respectivamente, a los controladores de los convertidores electrónicos de potencia de las turbinas eólicas individuales. Sólo es necesario comunicar una señal de ajuste, para ajustar la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica, al parque eólico, por ejemplo, a nivel de subestación. Con un cambio de la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica, también cambia la tensión de salida de las turbinas eólicas individuales. Los medios de regulación en los controladores de los convertidores electrónicos de potencia regulan entonces la tensión de salida de cada parque eólico para que corresponda al punto de referencia de tensión específico. Sin embargo, esta regulación se realiza a nivel local en el parque eólico de modo que no sea necesaria una comunicación de las señales de control desde un sistema SCADA central a los convertidores electrónicos de potencia. Esto reduce los requisitos que han de cumplir las conexiones entre el sistema SCADA y los controladores de los convertidores electrónicos de potencia, en particular en cuanto a velocidad de comunicación de las conexiones.

50 El parque eólico comprende una subestación que lo conecta a la red de distribución eléctrica. La subestación incluye un controlador de subestación o está conectada a un controlador de subestación. El controlador de subestación está conectado a los medios de medición para recibir señales de diferencia que representan una desviación del factor de potencia del parque eólico con respecto al factor de potencia solicitado, o una desviación de la potencia reactiva del parque eólico con respecto a la potencia reactiva solicitada, respectivamente, y a los medios de ajuste para emitir una señal de ajuste. Está programado para establecer la señal de ajuste basándose en la señal de diferencia recibida. Este desarrollo permite regular la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica a un punto de referencia de proporción específico.

65 El controlador de subestación está programado para establecer de manera iterativa señales de ajuste basándose en

señales de diferencia recibidas de manera sucesiva. Estableciendo de manera iterativa señales de ajuste, pueden mantenerse relativamente pequeños cambios graduales en la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica, de modo que la regulación de la tensión de salida en las turbinas eólicas individuales también requiera sólo etapas pequeñas.

5 Como medios de ajuste para ajustar la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica puede usarse un transformador principal con al menos dos tomas y un cambiador de tomas. Sin embargo, el operador del sistema eléctrico podría desear una regulación más precisa del factor de potencia de lo que puede conseguirse mediante el ajuste incremental, o gradual, de la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica por medio del cambio de tomas del transformador principal. Puede conseguirse una regulación más precisa mediante la adición de un sistema de control del factor de potencia dinámica complementario, por ejemplo en forma de batería de condensadores ajustable. La capacidad de potencia reactiva del sistema de control del factor de potencia dinámica complementario debe corresponder ventajosamente al cambio en la potencia reactiva entregada desde el parque eólico, lo que resulta del cambio en la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica provocado por un cambio de tomas en el transformador principal. Esto permite una variación más continua del factor de potencia o de la potencia reactiva por todo el intervalo proporcionado por el transformador principal.

20 Los convertidores electrónicos de potencia de las turbinas eólicas individuales pueden comprender un inversor con una entrada de inversor que está conectada a un enlace de CC del convertidor electrónico de potencia y una salida de inversor que está conectada, directamente o indirectamente, a la subestación. Luego, comprende además un controlador de inversor que está programado para controlar la salida del inversor a dicho puntos de referencia de tensión específicos. Esto permite el uso del convertidor eléctrico de potencia para regular las tensiones de salida de la turbina eólica a dicho punto de referencia de tensión específico, es decir para servir como medios de regulación para regular la tensión de salida de la turbina eólica individual para que corresponda a dicho punto de referencia de tensión. En particular, el inversor puede comprender varios conmutadores que conectan una entrada de inversor a una salida de inversor. El controlador comprende entonces:

30 - una unidad de medición de tensión conectada a la salida de inversor para medir la tensión de salida del inversor y para producir una señal de tensión que representa la tensión de salida medida,

- una memoria que almacena dicho punto de referencia de tensión,

35 - una unidad comparadora que está conectada a la unidad de medición de tensión para recibir la señal de tensión y que está conectada a la memoria para recibir el punto de referencia de tensión, estando la unidad comparadora diseñada para comparar la tensión de salida con dicho punto de referencia de tensión y para reproducir una señal de desviación que representa la desviación de la tensión medida con respecto a dicho punto de referencia de tensión,

40 - una unidad de procesamiento conectada a la unidad comparadora para recibir la señal de desviación, que está programada para establecer una señal de modulación que representa una modulación de ancho de impulso de señales de conmutación para los conmutadores basándose en la señal de desviación, y

45 - una unidad de modulación de ancho de impulso conectada a la unidad de procesamiento para recibir la señal de modulación, estando la unidad de modulación diseñada para modular el ancho de impulso de las señales de conmutación y que está conectada a los conmutadores para emitir señales de conmutación moduladas en ancho de impulso a los mismos.

50 Al emitir señales de conmutación moduladas en ancho de impulso a los conmutadores, puede establecerse la tensión de salida deseada en la turbina eólica individual para que corresponda a dicho punto de referencia de tensión específico.

55 Para permitir un ajuste del punto de referencia de tensión, el parque eólico puede comprender una unidad de ajuste de punto de referencia. Esta unidad está conectada a la subestación para recibir una señal de punto de referencia que representa un determinado valor para dicho punto de referencia de tensión desde la subestación y a los medios de regulación de turbinas eólicas individuales, por ejemplo a los controladores de inversor de los convertidores eléctricos de potencia, para entregar una señal de punto de referencia a los mismos que hace que el punto de referencia de tensión se ajuste al valor representado por la señal de punto de referencia. Mediante una unidad de ajuste de este tipo, puede ajustarse el funcionamiento del parque eólico a una amplia variedad de condiciones.

60 Características, propiedades y ventajas adicionales de la presente invención quedarán claras a partir de la siguiente descripción de realizaciones de la invención con referencia a los puntos adjuntos.

65 La figura 1 muestra una disposición de parque eólico para llevar a cabo un control del factor de potencia según la invención.

La figura 2 muestra la estructura de un inversor de una turbina eólica individual.

La figura 3 muestra una disposición de parque eólico para llevar a cabo un control del factor de potencia según la invención, que incluye un sistema de control del factor de potencia dinámica complementario.

5 La figura 4 muestra una disposición de parque eólico para llevar a cabo un control del factor de potencia según la invención, con una unidad de ajuste para ajustar el punto de referencia de tensión de las turbinas eólicas individuales.

La figura 5 muestra una disposición de parque eólico para llevar a cabo un control de la tensión del parque eólico.

10 La figura 1 muestra una disposición de parque eólico para llevar a cabo un control del factor de potencia según la invención. El parque eólico está indicado por dos turbinas 1, 3 eólicas, que comprenden cada una un rotor con un árbol de rotor que transmite el momento de rotación del rotor 5, 7 giratorio a una caja 13, 15 de engranajes. En la caja 13, 15 de engranajes, tiene lugar una transmisión de la rotación a un árbol 17, 19 de salida con una determinada proporción de transmisión.

15 El árbol 17, 19 de salida está fijado al rotor de un generador 21, 23 de CA que transforma la potencia mecánica proporcionada por la rotación del árbol 17, 19 de salida en potencia eléctrica. El generador de CA puede ser o bien un generador síncrono o bien un generador asíncrono. En un generador síncrono, el rotor gira con la misma frecuencia de rotación que el campo magnético giratorio producido por un estator del generador. En cambio, en un generador asíncrono, las frecuencias de rotación del campo magnético del estator y el rotor son diferentes. La diferencia en la frecuencia de rotación se describe mediante el deslizamiento del generador. Los generadores 21, 23 son generadores de velocidad variable, es decir se permite que la velocidad de rotación del rotor varíe dependiendo de las condiciones del viento.

25 Para proporcionar una frecuencia fija a la red de distribución eléctrica a la que están conectadas las turbinas eólicas, cada turbina 1, 3 eólica está equipada con un convertidor 25, 27 electrónico de potencia que convierte parte de o toda la electricidad de frecuencia variable entregada por los generadores 21, 23 en una potencia eléctrica que tiene una frecuencia fija que está adaptada a la red de distribución eléctrica. Además, los convertidores 25, 27 electrónicos de potencia controlan la tensión de salida de la electricidad suministrada por la turbina eólica para que corresponda a un punto de referencia de tensión específico. Más adelante se explicarán detalles de los convertidores 25, 27 eléctricos de potencia.

35 Las turbinas 1, 3 eólicas individuales están conectadas a una red 29 de distribución interna con una tensión intermedia a través de filtros 30, 32 y transformadores 31, 33. La red 29 de distribución interna está conectada, a través de una subestación 35, a una red de distribución eléctrica que debe operarse con un determinado factor de potencia solicitado por el operador del sistema eléctrico. El parque eólico, que se muestra esquemáticamente en la figura 1, debe operarse con un control del factor de potencia, es decir el parque eólico entrega un determinado factor de potencia a petición del operador del sistema eléctrico.

40 Con el parque eólico de la invención y el método de la invención, el factor de potencia suministrado a la red de distribución eléctrica puede controlarse a nivel de subestación mediante una combinación de un control de la tensión en las turbinas eólicas individuales del parque eólico, un control de la tensión en la subestación y, como opción, una batería de condensadores. Basándose en un cambio de la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica, los inversores de turbinas eólicas individuales regularán automáticamente la proporción de potencia activa y reactiva suministrada por el inversor para mantener la tensión de salida definida por el punto de referencia de tensión mientras que, al mismo tiempo, se suministra la potencia activa definida por el controlador de potencia activa. El cambio de la proporción de potencia activa a reactiva a nivel de inversor individual cambiará de manera conjunta el factor de potencia de la electricidad suministrada por el parque eólico. Por consiguiente, el factor de potencia de la electricidad suministrada por el parque eólico puede regularse para que coincida con el factor de potencia solicitado por el operador del sistema eléctrico basándose en el cambio de la salida de potencia reactiva desde los inversores individuales, es decir desde las turbinas eólicas individuales, que resulta de cambios de la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica, y la potencia reactiva suministrada por el sistema de control del factor de potencia.

55 Cuando el operador del sistema eléctrico envía una petición al parque eólico de un determinado factor de potencia, el factor de potencia del parque eólico se mide a nivel de subestación y se compara con el factor de potencia solicitado por el operador del sistema eléctrico. Entonces, la proporción de la tensión del parque eólico, en la salida 37 de la subestación 35, respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica se ajusta a nivel de subestación 35. Este cambio de la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica provoca un cambio de la tensión de salida en las turbinas eólicas individuales. Por tanto, la tensión de salida en las turbinas eólicas individuales se regula por los convertidores 25, 27 electrónicos de potencia para que corresponda de nuevo al punto de referencia de tensión específico. El ajuste de la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica y la regulación de las tensiones de salida de las turbinas eólicas individuales para que correspondan al punto de referencia de tensión específico continúan hasta que el factor de potencia de la electricidad suministrada por el parque eólico corresponda al factor de potencia solicitado al operador del sistema eléctrico.

El ajuste de la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica se realiza por medio de un transformador 39 principal de la subestación 35. Por tanto, la subestación 35 comprende un cambiador de tomas que permite cambiar la salida de tensión mediante el transformador 39 principal. Al cambiar la tensión, la inductancia del transformador también cambia, lo que a su vez cambia el ángulo de fase entre la tensión y la corriente suministrada por el parque eólico a la red de distribución eléctrica. Como consecuencia, el factor de potencia también cambia. Obsérvese que el factor de potencia es la proporción de la potencia reactiva suministrada por el parque eólico respecto a la raíz cuadrada del cuadrado de la potencia activa más el cuadrado de la potencia reactiva suministrada por el parque eólico. Un factor de potencia de uno significa que no hay potencia reactiva presente y que la potencia suministrada contiene sólo potencia activa y corresponde a una diferencia de fase entre la tensión y la corriente de cero grados, puesto que el factor de potencia viene dado por el coseno de la diferencia de fase entre la tensión y la corriente. Por otro lado, una fase diferente de 90°, es decir un factor de potencia de cero, significa que sólo se entrega potencia reactiva a la red de distribución eléctrica por el parque eólico.

La subestación 35 comprende además un controlador 41 de cambio de tomas que actúa sobre el cambiador de tomas del transformador 39 principal y un controlador 43 del factor de potencia que actúa sobre el controlador 41 de cambio de tomas. El controlador 43 del factor de potencia recibe la petición de un determinado factor de potencia por el operador del sistema eléctrico a través de una línea 45 de entrada. El controlador 43 del factor de potencia incluye una unidad 47 de medición que está conectada a la salida 37 de la subestación para medir la diferencia de fase entre la tensión de salida y la corriente de salida del parque eólico. Basándose en la diferencia de fase medida, el controlador 43 del factor de potencia establece el factor de potencia real de la electricidad suministrada por el parque eólico y lo compara con el factor de potencia solicitado por el operador eléctrico a través de la línea 45 de entrada. Basándose en la diferencia entre un factor de potencia solicitado y el factor de potencia real del parque eólico, se establece la señal de control del factor de potencia y se entrega al controlador 41 de cambio de tomas. El controlador 41 de cambio de tomas determina entonces una proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica que produce un factor de potencia que se aproxima más al factor de potencia solicitado. Configurando la toma apropiada se ajusta la proporción. El ajuste puede realizarse de manera gradual o en un proceso continuo.

El ajuste de la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica por medio del cambiador de tomas del transformador principal conduce a un cambio de la tensión en la red 29 de distribución interna y, a su vez, a un cambio de la tensión en la salida de los convertidores 25, 27 eléctricos de potencia. Sin embargo, puesto que los convertidores 25, 27 electrónicos de potencia están programados para controlar las tensiones de salida de la electricidad suministrada por las respectivas turbinas eólicas para que correspondan a un punto de referencia de tensión específico, el ajuste de la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica da como resultado una acción de regulación de los convertidores 25, 27 electrónicos de potencia para regular las tensiones de salida en las turbinas eólicas individuales hasta que la salida de tensión por el convertidor electrónico de potencia corresponda de nuevo al punto de referencia de tensión.

Después de que se hayan regulado las tensiones de salida de las turbinas eólicas individuales para que correspondan de nuevo al punto de referencia de tensión específico, el factor de potencia del parque eólico se mide de nuevo y se compara de nuevo con el factor de potencia solicitado por el operador de sistema eléctrico. Cuando la diferencia entre el factor de potencia del parque eólico y el factor de potencia solicitado es lo suficientemente pequeña, es decir es menor que una desviación preestablecida, el método termina. Cuando la diferencia no es lo suficientemente pequeña, es decir es más grande que la desviación máxima preestablecida, la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica se ajusta de nuevo por medio del cambiador de tomas del transformador 39 principal, y las tensiones de salida en la turbina eólica individual se regulan de nuevo por los convertidores 25, 27 electrónicos de potencia para que correspondan al punto de referencia de tensión específico. Este procedimiento se repite siempre que la diferencia medida entre el factor de potencia del parque eólico y el factor de potencia solicitado sea más grande que la desviación máxima permitida.

Aunque el control del factor de potencia dinámica, tal como se describió anteriormente, se realiza de manera iterativa, es decir de manera gradual con la reducción de la diferencia entre el factor de potencia del parque eólico y el factor de potencia solicitado en cada etapa, también puede realizarse de manera continua, si la subestación 35 permite variar de manera continua la tensión del parque eólico en la salida 37 de subestación.

A continuación se describirá la regulación de la tensión de salida de la electricidad suministrada por las turbinas eólicas. La tensión de salida se controla por los convertidores 25, 27 electrónicos de potencia de las turbinas 1, 3 eólicas individuales. Los convertidores 25, 27 electrónicos de potencia comprenden cada uno un rectificador 49, 51 activo para producir una tensión de CC a partir de la tensión de CA de frecuencia variable proporcionada por las turbinas eólicas, produciendo un inversor una tensión de CA de frecuencia fija a partir de la tensión de CC, y un enlace 57, 59 de CC que conecta el rectificador 49, 51 activo con el inversor 53, 55. Cada convertidor 25, 27 electrónico de potencia incluye además un controlador 61, 63 de generador que controla el par motor alcanzado por el generador 21, 23 controlando la corriente de estator o la tensión de estator del generador 21, 23.

La señal de control emitida al rectificador 49, 51 activo se establece basándose en la potencia deseada que debe

proporcionarse a la red de distribución, la tensión del enlace de CC y la velocidad del árbol del rotor.

5 El controlador 73, 75 de inversor recibe el nivel de tensión en el enlace 57, 59 de CC y el nivel de tensión en la salida de inversor. Recibe además una señal de control de potencia activa desde un controlador 69, 71 de potencia activa que controla la potencia activa, emitida por los convertidores 25, 27 electrónicos de potencia, a una potencia activa solicitada. Además, el controlador 73, 75 de inversor controla la tensión de salida del inversor 53, 55 a un punto de referencia de tensión preestablecido. La potencia activa y la tensión se controlan por medio de señales de conmutación moduladas en ancho de impulso para los conmutadores activos del inversor 53, 55.

10 La estructura del inversor 53 se muestra en la figura 2 en mayor detalle. Comprende tres pares de dispositivos 77 de conmutación activos, como transistores bipolares de puerta aislada (IBT), transistores de unión bipolar, transistores de efecto campo, transistores Darlington o tiristores apagados por puerta. En la presente realización, cada par de dispositivos 77 de conmutación activos incluye dos transistores bipolares de puerta aislada como dispositivos 77 de conmutación activos. Los pares de dispositivos 77 de conmutación activos están conectados entre las dos líneas del enlace 57 de CC. Las tres líneas de la salida 79 de inversor están conectadas cada una a uno diferente de los pares de dispositivos 77 de conmutación activos, en medio de los dispositivos 77 de conmutación.

15 Mediante una conmutación adecuada de los dispositivos 77 de conmutación activos, la tensión de CC en el enlace 57 de tensión puede transformarse en una tensión alterna trifásica en la salida 79 de inversor. La conmutación se realiza según señales de conmutación moduladas en ancho de impulso que se suministran a los dispositivos 77 de conmutación activos por el controlador 73 de inversor a través de un circuito 81 de accionamiento. Las señales de conmutación moduladas en ancho de impulso se establecen de tal manera por el controlador 73 de convertidor que la potencia activa en la salida 79 de inversor corresponde a una potencia activa solicitada y que la tensión en la salida 79 de inversor corresponde al punto de referencia de tensión preestablecido o se regula por el punto de referencia de tensión preestablecido.

20 Una segunda realización del parque eólico se muestra en la figura 3. El parque eólico de la segunda realización corresponde al parque eólico de la primera realización excepto por una batería 83 de condensadores que está prevista en la subestación 35. Al igual que el controlador 41 de cambio de tomas, la batería de condensadores se controla por el controlador 43 del factor de potencia. La batería 83 de condensadores ajustable constituye un sistema de control del factor de potencia dinámica complementario que permite una regulación más precisa del factor de potencia de lo que puede conseguirse mediante un ajuste gradual de la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica por medio del cambiador de tomas del transformador 39 principal. Tal como ya se describió, con el cambiador de tomas del transformador 39 principal, la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica se ajusta de manera gradual hasta que el factor de potencia del parque eólico se aproxime lo suficiente al factor de potencia solicitado. Con el sistema de control del factor de potencia complementario, es decir con la batería 83 de condensadores ajustable, el factor de potencia conseguido con la última iteración por el cambiador de tomas puede aproximarse incluso más al factor de potencia solicitado. Además, si el factor de potencia del parque eólico sólo difiere ligeramente del factor de potencia solicitado, el factor de potencia del parque eólico podría regularse por el sistema de control del factor de potencia complementario, por sí solo.

30 Todavía una realización adicional del parque eólico se muestra en la figura 4. Este parque eólico corresponde al parque eólico mostrado en la figura 3 excepto por una unidad 84 de ajuste del punto de referencia adicional que recibe señales de ajuste desde el controlador 43 del factor de potencia y configura, basándose en la señal de ajuste recibida, el punto de referencia de tensión en los controladores 73, 75 de inversor. A diferencia de esto, el punto de referencia de tensión está programado permanentemente en los controladores de inversor de las primeras dos realizaciones.

35 Todas las realizaciones del parque eólico de la invención se han descrito basándose en la recepción de una petición de factor de potencia desde la línea 45 de entrada. Sin embargo, el controlador del factor de potencia podría sustituirse por un controlador de potencia reactiva. En este caso, el controlador de potencia reactiva recibiría una petición de potencia reactiva a través de la línea 45 de entrada. Con esta variación de las realizaciones descritas, la potencia reactiva emitida por el parque eólico podría controlarse de la misma manera que se controlaba el factor de potencia del parque eólico en las primeras dos realizaciones.

40 En principio, sustituyendo el controlador 43 del factor de potencia por un controlador 430 de la tensión (véase la figura 5), puede realizarse un control de la tensión del parque eólico con el método descrito.

45 Aunque sólo se muestran dos turbinas eólicas en las realizaciones, el parque eólico incluiría normalmente un número mayor de turbinas eólicas, incluyendo cada turbina eólica un convertidor electrónico de potencia para convertir electricidad de frecuencia variable generada por el generador de la turbina eólica en electricidad de frecuencia fija.

REIVINDICACIONES

1. Método para controlar el factor de potencia dinámica o la potencia reactiva de un parque eólico que comprende varias turbinas (5, 7) eólicas que deben accionarse con un factor de potencia solicitado o una potencia reactiva solicitada, conectadas a una red de distribución eléctrica por medio de una subestación (35) incluida o que está conectada a un controlador (43) de subestación, controlándose la tensión de salida de la electricidad suministrada por una turbina (5, 7) eólica individual a un punto de referencia de tensión específico, en el que
- 5 a) se mide el factor de potencia del parque eólico y se compara con el factor de potencia solicitado para la red de distribución eléctrica, o se mide la potencia reactiva del parque eólico y se compara con la potencia reactiva solicitada para la red de distribución eléctrica, respectivamente;
- 10 b) el controlador (43) de subestación ajusta la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica basándose en una señal de diferencia que representa la desviación del factor de potencia del parque eólico con respecto al factor de potencia solicitado o la desviación de la potencia reactiva del parque eólico con respecto a la potencia reactiva solicitada, respectivamente, y emite de manera iterativa señales de ajuste, que se establecen de manera iterativa basándose en una señal de diferencia recibida de manera iterativa
- 15 c) se regula la tensión de salida de las turbinas (5, 7) eólicas individuales para que corresponda al punto de referencia de tensión específico;
- 20 realizándose al menos las etapas b) a c) hasta que el factor de potencia de la electricidad suministrada por el parque eólico corresponda al factor de potencia solicitado o la potencia reactiva de la electricidad suministrada por el parque eólico corresponda a la potencia reactiva solicitada, respectivamente.
- 25 2. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque se usa una toma de transformador principal para ajustar dicha proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica.
3. Método según la reivindicación 2, caracterizado porque dicha proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica se ajusta adicionalmente mediante el uso de un sistema (83) de control del factor de potencia dinámica complementario.
- 30 4. Método según la reivindicación 3, caracterizado porque se usa una batería (83) de condensadores ajustable para ajustar adicionalmente dicha proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica.
- 35 5. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque las turbinas (5, 7) eólicas individuales están equipadas con un convertidor (25, 27) electrónico de potencia que convierte parte de o toda la electricidad suministrada por la turbina (5, 7) eólica, y en el que el convertidor (25, 27) electrónico de potencia está programado para controlar la tensión de salida de la electricidad suministrada por una turbina (5, 7) eólica individual a dicho punto de referencia de tensión específico y regular la tensión de salida de las turbinas (5, 7) eólicas individuales para que corresponda a dicho punto de referencia de tensión específico en dicha etapa c).
- 40 6. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque las etapas a) a c) se realizan de manera repetida en etapas discretas hasta que el factor de potencia de la electricidad suministrada por el parque eólico corresponda al factor de potencia solicitado o la potencia reactiva de la electricidad suministrada por el parque eólico corresponda a la potencia reactiva solicitada, respectivamente.
- 45 7. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque dicho punto de referencia de tensión es ajustable.
- 50 8. Parque eólico con varias turbinas (5, 7) eólicas para su conexión de manera conjunta a una red de distribución eléctrica, que comprende:
- 55 - turbinas (5, 7) eólicas individuales equipadas con un convertidor (25, 27) electrónico de potencia para convertir parte de o toda la electricidad suministrada por la turbina (5, 7) eólica, estando el convertidor (25, 27) eléctrico de potencia equipado con un controlador (73, 75) que está programado para controlar la tensión de salida de la electricidad suministrada por la turbina (5, 7) eólica a un punto de referencia de tensión específico;
- 60 - medios (43, 47) para medir el factor de potencia del parque eólico o la potencia reactiva del parque eólico y compararlo con un factor de potencia solicitado o la potencia reactiva solicitada, respectivamente;
- medios (39, 41) de ajuste para ajustar la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica;
- 65 en el que

- las turbinas (5, 7) eólicas individuales están equipadas con medios (25, 27) de regulación que están programados para regular la tensión de salida en las turbinas (5, 7) eólicas individuales para que corresponda al punto de referencia de tensión específico,

5 - comprendiendo el parque eólico además una subestación (35) que conecta el parque eólico a la red de distribución eléctrica, incluyendo la subestación (35), o estando conectada a, un controlador (43) de subestación que está conectado a o incluye los medios (47) de medición para recibir una señal de diferencia que representa la desviación del factor de potencia del parque eólico con respecto al factor de potencia solicitado o la desviación de la potencia reactiva del parque eólico con respecto a la potencia reactiva solicitada, respectivamente, y a los medios (39, 41) de
10 ajuste para emitir señales de ajuste, estando el controlador (43) de subestación programado para establecer de manera iterativa señales de ajuste basándose en una señal de diferencia recibida de manera iterativa.

9. Parque eólico según la reivindicación 8, caracterizado porque los medios de ajuste comprenden un transformador (39) principal con al menos dos tomas y un cambiador de tomas.
15

10. Parque eólico según la reivindicación 9, caracterizado porque los medios (39, 41) de ajuste comprenden además un sistema (83) de control del factor de potencia dinámica complementario.

11. Parque eólico según la reivindicación 10, caracterizado porque el sistema de control del factor de potencia dinámica comprende una batería (83) de condensadores variable.
20

12. Parque eólico según la reivindicación 10 u 11, caracterizado porque la capacidad del sistema (83) de control del factor de potencia dinámica complementario corresponde al cambio en la potencia reactiva del parque eólico que resulta del cambio en la proporción de la tensión del parque eólico respecto a la tensión de la red de distribución eléctrica provocado por un cambio de tomas en el transformador (39) principal.
25

13. Parque eólico según cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, caracterizado porque el medio de regulación es un convertidor (25, 27) eléctrico de potencia que comprende:

30 - un inversor (53, 55) que comprende una entrada de inversor y una salida (79) de inversor, estando la entrada de inversor conectada a un enlace (57) de CC del convertidor (25, 27) electrónico de potencia y estando la salida (79) de inversor conectada a la subestación (35) y

35 - un controlador (73, 75) de inversor que está programado para controlar la tensión de salida del inversor (53, 55) a dicho punto de referencia de tensión específico.

14. Parque eólico según la reivindicación 13, caracterizado porque el inversor (53, 55) comprende varios conmutadores (77) que conectan la entrada del inversor a la salida (79) del inversor, y

40 en el que el controlador (73, 75) de inversor comprende:

- una unidad de medición de tensión conectada a la salida (79) del inversor para medir la tensión de salida del inversor (53, 55) y para producir una señal de tensión que representa la tensión de salida medida,

45 - una memoria que almacena dicho punto de referencia de tensión,

- una unidad comparadora que está conectada a la unidad de medición de tensión para recibir la señal de tensión y que está conectada a la memoria para recibir el punto de referencia de tensión, estando la unidad comparadora diseñada para comparar la tensión de salida con dicho punto de referencia de tensión y para producir una señal de desviación que representa la desviación de la tensión medida con respecto al punto de referencia de tensión,
50

- una unidad de procesamiento conectada a la unidad comparadora para recibir la señal de desviación que está programada para establecer una señal de modulación que representa una modulación de ancho de impulso de señales de conmutación para los conmutadores (77) basándose en la señal de desviación, y
55

- una unidad de modulación de ancho de impulso conectada a la unidad de procesamiento para recibir la señal de modulación, estando la unidad de modulación de ancho de impulso diseñada para modular el ancho de impulso de las señales de conmutación y estando conectada a un circuito (81) de accionamiento de los conmutadores (77) para emitir señales de conmutación moduladas en ancho de impulso a los mismos.
60

15. Parque eólico según la reivindicación 14, caracterizado porque comprende una unidad (84) de ajuste de punto de referencia que está conectada a la subestación (35) para recibir una señal de punto de referencia que representa un determinado valor para dicho punto de referencia de tensión desde la subestación (35) y que está conectada además a los medios (25, 27) de regulación de las turbinas (5, 7) eólicas individuales para entregar una señal de configuración a los medios (25, 27) de regulación que hace que el punto de referencia de tensión se ajuste al valor representado por la señal de punto de referencia.
65

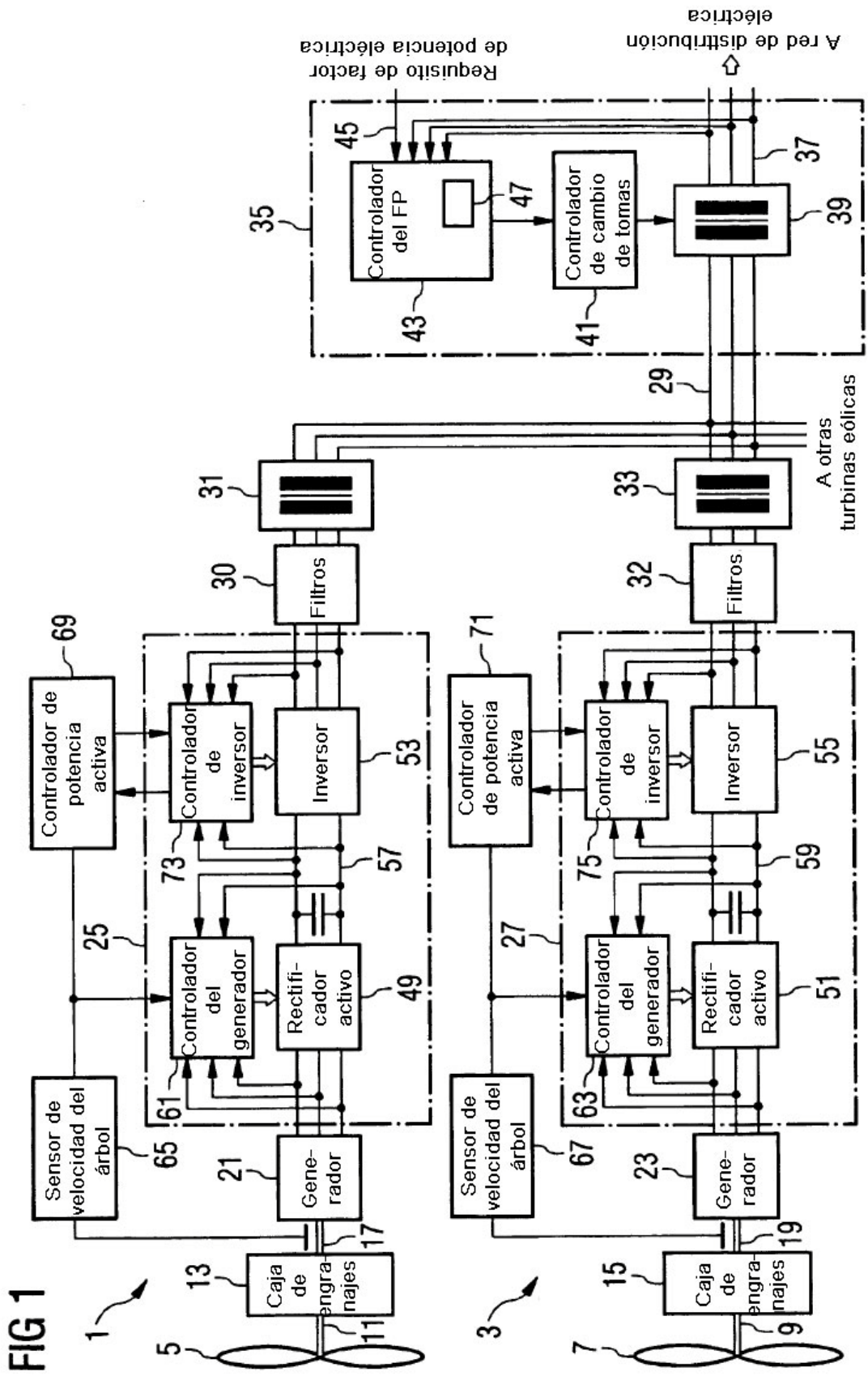


FIG 2

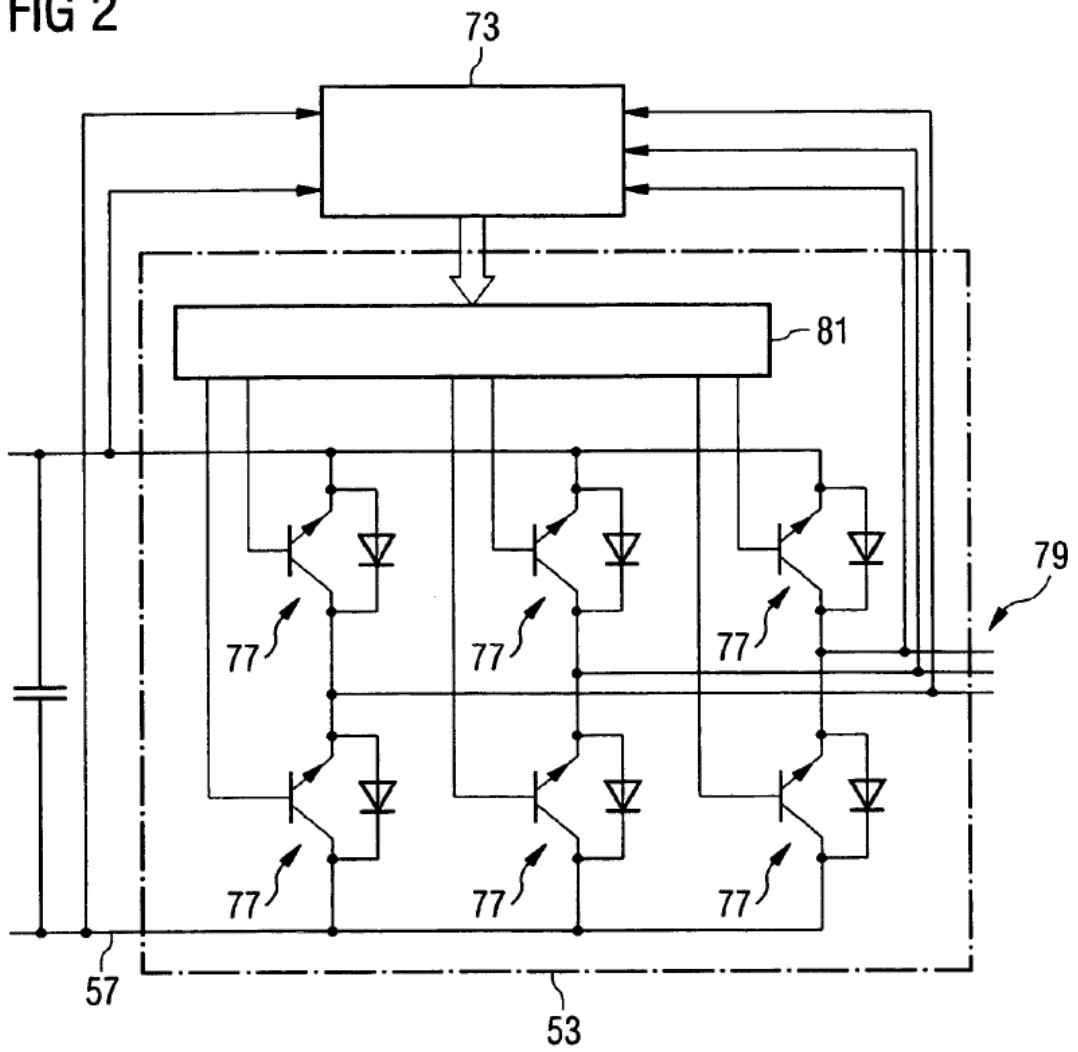


FIG 3

