

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 584 535**

21 Número de solicitud: 201530410

51 Int. Cl.:

**H02J 3/18** (2006.01)

**H02J 3/36** (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

**27.03.2015**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**28.09.2016**

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

**20.12.2016**

Fecha de concesión:

**14.06.2017**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**21.06.2017**

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID (100.0%)**  
**Av. Gregorio Peces Barba, 1**  
**28919 Leganés (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**RODRÍGUEZ AMENEDO, José Luis y**  
**ARNALTES GÓMEZ, Santiago**

54 Título: **Método y sistema para el control de tensión y frecuencia en una red aislada**

57 Resumen:

La invención describe un método para el control de la tensión y la frecuencia en una red aislada, donde la red aislada comprende una barra colectora (5) que recibe energía de al menos un aerogenerador (1) y la evacúa mediante un rectificador (2) hacia un enlace (4) de transmisión de corriente continua, y donde la barra colectora (5) está conectada a un banco de condensadores (6). El método permite mantener constantes la magnitud y frecuencia de la tensión en la barra colectora (5) si se mantienen constantes la componente directa  $d$  (9) y cuadratura  $q$  (10) del vector de tensión (11) en la barra colectora (5). Ello se consigue controlando la reactiva inyectada en la barra colectora (5) y, en caso de que el rectificador (2) sea controlado, controlando el ángulo de disparo de los tiristores.

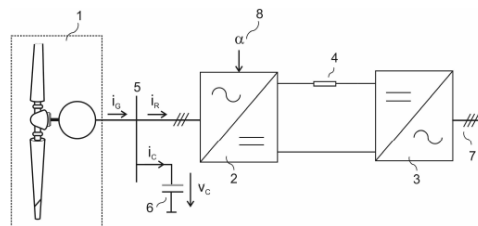


FIG. 1

## **DESCRIPCIÓN**

Método y sistema para el control de tensión y frecuencia en una red aislada

### **5 OBJETO DE LA INVENCION**

La presente invención se refiere a un método y a un sistema para la regulación de la tensión y frecuencia en una red aislada, permitiendo la transmisión de energía eléctrica en corriente continua. La invención es capaz de generar una onda de tensión controlada en una red  
10 aislada, manteniendo el valor eficaz de la tensión y la frecuencia constantes, cuando la red aislada se conecta a otra red mediante un enlace de corriente continua con una estación rectificadora que puede ser controlada (de tiristores) o no controlada (de diodos).

### **ESTADO DE LA TÉCNICA**

15

Es conocido cómo las redes eléctricas convencionales de corriente alterna mantienen el control de la tensión y la frecuencia mediante el uso de generadores síncronos conectados en paralelo en diferentes nudos del sistema eléctrico. El control de la frecuencia se efectúa manteniendo el balance entre la potencia activa generada por el conjunto de generadores  
20 conectados a la red y la potencia eléctrica demanda por las cargas más la potencia de pérdidas eléctricas debidas al paso de la corriente eléctrica. Cada generador síncrono dispone de un elemento de control denominado regulador de velocidad ("governor") cuya función es aumentar o disminuir la potencia mecánica de la turbina en el caso de una reducción o aumento de la frecuencia de la red, respectivamente. Asimismo, el control de la  
25 tensión en el nudo de conexión a la red eléctrica de cada generador se efectúa mediante otro elemento de control denominado regulador automático de tensión, actuando sobre la intensidad de excitación del generador.

Desde mediados del siglo pasado se han desarrollado enlaces de corriente continua de alta  
30 tensión (HVDC) como una alternativa a los sistemas de transmisión de corriente alterna en líneas eléctricas de larga distancia (HVAC). La tecnología de las subestaciones que conectan los terminales de corriente continua con la red de corriente alterna estaba basada en interruptores conmutados por red (tiristores), de ahí que esta tecnología se conozca como HVDC-LCC (Line Commutated Converter). Esta tecnología de HVDC tiene como  
35 ventajas: a) elevada capacidad de transmisión con tensiones de hasta de 800 kVDC, b) elevada capacidad de sobrecarga, c) reducidas pérdidas de conducción y conmutación de

los interruptores de potencia y d) alta madurez tecnológica. Sin embargo presenta una serie de desventajas como son: a) necesita una red de corriente alterna en ambos extremos del enlace para la conmutación de los interruptores, b) por tanto, no pueden contribuir a la reposición del sistema eléctrico en caso de fallo en la red, c) genera armónicos de tensión y de corriente que se deben compensar mediante filtros, d) los convertidores absorben potencia reactiva cuando aumenta el ángulo de disparo de los tiristores.

A finales del siglo pasado se desarrolló la tecnología HVDC-VSC (Voltage Source Converter). Las subestaciones AC/DC basadas en esta tecnología utilizan interruptores auto-conmutados dispuestos de forma modular en convertidores multinivel. Las ventajas de esta tecnología viene a suplir en gran medida los inconvenientes de los convertidores HVDC-LCC, entre ellas cabe destacar: a) la capacidad de generar una red de corriente alterna de frecuencia y tensión controlables a partir de una tensión DC, b) la posibilidad de reponer el sistema, c) el uso de filtros de armónicos de menor tamaño, c) el control bidireccional de la potencia reactiva en las redes AC del enlace HVDC-VSC. Sin embargo tienen como inconvenientes algunas de las ventajas atribuidas a los enlaces HVDC-LCC, a saber: a) menor capacidad de transmisión, b) tensiones DC más reducidas, c) menor capacidad de sobrecarga, d) mayores pérdidas en los convertidores, e) tecnología menos madura y, por tanto, menos fiable y f) mayor coste de los convertidores.

En la actualidad la integración de los parques eólicos marinos en los sistemas eléctricos continentales se está proponiendo en todo el mundo como una alternativa a la reducción del consumo de combustible fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero. Debido a que buena parte de los grandes parques marinos proyectados están ubicados lejos de la costa, en estas circunstancias una conexión con enlaces HVDC es técnica y económicamente más adecuada que un sistema de transmisión HVAC. Como ya se ha indicado la tecnología HVDC-VSC tiene indudablemente más ventajas en cuanto a sus capacidades de control, sin embargo presenta claras desventajas en relación al coste, rendimiento y fiabilidad en comparación con la tecnología HVDC-LCC.

En el caso de un parque eólico conectado a un enlace de corriente continua, el flujo de potencia por el enlace es unidireccional, esto es, de la subestación rectificadora del parque eólico a la estación inversora conectada a la red. Como se ha comentado, las dos tecnologías que pueden emplearse para evacuar la potencia eólica generada son:

1) Tecnología HVDC-VSC: en este caso la estación rectificadora es capaz de generar la red AC del parque eólico a partir del control de los interruptores de potencia auto-conmutados.

5           2) Tecnología HVDC-LCC: la estación rectificadora emplea un rectificador no controlado (puente de diodos) o controlado (puente de tiristores), siendo necesario algún dispositivo adicional que mantenga la tensión y la frecuencia en la red AC del parque eólico.

10       Como ya se dijo, con esta tecnología es posible realizar de una forma más económica, eficiente y fiable la conexión de un parque eólico a un enlace de corriente continua. Por tanto se hace necesario desarrollar un método y sistema de control para la transmisión de energía eléctrica en enlaces de corriente continua que sea capaz de mantener la tensión y la frecuencia en la red aislada.

15       En el estado de la técnica se conocen referencias relacionadas con la transmisión de potencia en corriente continua y su método de control en el caso correspondiente al uso de un rectificador controlado de tiristores, como las referidas en los documentos WO 2010/018264, GB2423650, WO2014131454 y Fazeli et al. *Voltage and frequency Control of*  
20 *Offshore DFIG-based Wind Farms with line commuted HVDC connection*, In: PEMD2008, 4<sup>th</sup> IET Conference on Power Electronics, Machines and Drives, pp. 335-339, 2-4 April 2008.

En el documento WO 2010/018264 se reivindica un sistema de transmisión de energía eléctrica en corriente continua caracterizado por una serie de elementos que son los  
25 elementos conocidos de una estación rectificadora HVDC-LCC. Como, por ejemplo, el sistema descrito en la publicación de Fazeli et al. Se reivindica además un método de control por el que se modifica la tensión, frecuencia y armónicos del bus de alterna para controlar la tensión y corriente del enlace de continua, pero en el caracterizado no se alcanza a conocer las características técnicas de tal método, sino sólo un efecto técnico que  
30 no guarda relación con el objeto del método (controlar la tensión y corriente del enlace de continua): que produce un desfase mínimo entre la tensión y la corriente del lado de alterna, que elimina el cambiador de toma de los transformadores y que reduce o elimina los filtros y sistemas de compensación de reactiva. Debiéndose señalar además, que la mera interconexión de los elementos enumerados en las reivindicaciones no produce los efectos  
35 reivindicados.

- El documento GB2423650 reivindica un sistema de conversión de energía similar al reivindicado en WO2010/018264, pero aplicado a un único generador que suministra tensión y frecuencia variable que se conecta a una red colectora de corriente alterna de tensión y frecuencia constante. La conexión se realiza a través de un enlace de corriente continua  
5 formado por un rectificador no controlado conectado al estator del generador y un inversor elevador conectado a la red colectora. No obstante, en este método no se controla la tensión y frecuencia del bus de alterna del rectificador, sino que esta tensión y frecuencia son variables e impuestas por el generador síncrono.
- 10 El documento de Fazeli et al. describe un sistema de control distribuido basado en el control local de cada aerogenerador para mantener la tensión y la frecuencia de una red de corriente alterna en un parque eólico marino conectado a un enlace de corriente continua mediante un rectificador no controlado. El sistema de control descrito en este documento establece las consignas de frecuencia y tensión individuales de cada generador como una  
15 relación proporcional a la potencia activa y reactiva generada por cada uno de ellos, lo que habitualmente se conoce en la terminología técnica como "*frequency and voltage droop method*".
- Finalmente, en el documento WO2014131454 se reivindica un método para generar la  
20 tensión y frecuencia en un parque eólico marino conectado a un enlace de continua mediante un rectificador de diodos. El método consiste en emplear elementos auxiliares para generar la tensión y frecuencia de la red de alterna del parque eólico, como un generador auxiliar, una red de alterna auxiliar u otros.
- 25 En cuanto al caso correspondiente al uso de un rectificador no controlado de diodos, mencionar que en un rectificador no controlado la relación entre la tensión de entrada de alterna y la tensión de salida de continua es fija y, por tanto, no puede controlarse. Se podría decir que es un caso particular de rectificador conmutado por red, en el que el ángulo de disparo de los tiristores es fijo y de valor cero. Es decir, el interruptor estático conmuta tan  
30 pronto como queda polarizado directamente. No obstante, se requiere la generación de una tensión alterna para su funcionamiento.

## **DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN**

- 35 La invención aquí descrita se refiere a un método y sistema de control de la tensión y frecuencia en una red aislada, como puede ser un parque eólico offshore, conectada a la red

general mediante un enlace de corriente continua que emplea en una estación rectificadora que, como se ha mencionado anteriormente, puede ser controlada o no controlada.

5 Los aerogeneradores de los parques eólicos tienen la particularidad, frente a los generadores convencionales, de que funcionan como fuente de corriente. Es decir, controlan la corriente inyectada a una red eléctrica, por lo que para su funcionamiento necesitan una red que imponga en sus terminales el valor eficaz y frecuencia de la tensión. Por otro lado, la estación rectificadora de un enlace HVDC LCC requiere asimismo para su funcionamiento de una red que imponga el valor eficaz y frecuencia de la tensión en sus terminales. Lo anterior implica la imposibilidad de conectar un parque eólico offshore a una estación rectificadora, ya que tanto los aerogeneradores que conforman el parque eólico como la estación rectificadora requieren para su funcionamiento una tensión de magnitud y frecuencia constante.

15 Para este propósito se conectará un banco de condensadores a la barra colectora que interconecta el parque eólico y la estación rectificadora. Se demuestra que el control de las componentes del vector de tensión en la barra colectora en un marco de referencia síncrono permite, de forma desacoplada, el control de la tensión y frecuencia de la red aislada. Para ello, se realiza la transformación de Park sobre los valores instantáneos de la tensión en el banco de condensadores. El control de las componentes directa y cuadratura del vector espacial de tensión (componentes d-q), obtenidas como resultado de la transformación de Park, permitirá el control de la tensión y frecuencia de la red, respectivamente, actuando sobre las componentes d y q de las corrientes inyectadas en el condensador.

25 Por lo tanto, un primer aspecto de la invención está dirigido a un método para el control de la tensión y la frecuencia en una red aislada, donde la red aislada comprende una barra colectora que recibe energía de al menos un aerogenerador y la evacúa mediante un rectificador hacia un enlace de transmisión de corriente continua. Además, para permitir el control de tensión y frecuencia, a esta red aislada se añade un banco de condensadores conectado a la barra colectora conectada. En este contexto, para mantener constantes la magnitud y frecuencia de la tensión en la barra colectora basta con mantener a su vez constantes la componente directa d y cuadratura q del vector de tensión en la barra colectora.

35 En una realización preferida de la invención, el método comprende el paso de mantener nula la componente cuadratura q del vector de tensión en la barra colectora, consiguiéndose así

el balance instantáneo de la potencia reactiva en la barra colectora.

Preferentemente, el balance de potencia reactiva se consigue controlando la corriente reactiva inyectada en la barra colectora para que la componente cuadratura del vector de tensión en la barra sea nula. Esto se puede hacer directamente regulando la potencia reactiva generada por el aerogenerador mediante el envío al mismo de una consigna de reactiva adecuada. Alternativamente, se puede hacer utilizando un dispositivo de regulación de reactiva conectado a dicha barra colectora, por ejemplo un SVC o un STATCOM

10 En una realización preferida correspondiente a un caso en el que la estación rectificadora es un rectificador controlado de tiristores, el balance de potencia activa se consigue controlando el ángulo de disparo de dichos tiristores para que dicho rectificador absorba toda la potencia activa generada por el aerogenerador. Esto se puede hacer de forma directa o bien de forma indirecta mediante un lazo anidado de control.

15 Alternativamente, en una realización preferida correspondiente a un caso en el que la estación rectificadora es un rectificador no controlado de diodos, el balance de potencia activa se alcanza automáticamente de forma pasiva, estableciéndose un valor determinado de la tensión alterna partiendo de una tensión continua establecida.

20 Un segundo aspecto de la invención está dirigido a un sistema para el control de tensión y frecuencia en una red aislada capaz de llevar a cabo el procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones anteriores. La red aislada comprende una barra colectora que recibe energía de al menos un aerogenerador y la evacúa mediante un rectificador hacia un enlace de transmisión de corriente continua. Adicionalmente, el sistema comprende un banco de condensadores conectado a la barra colectora para permitir la implementación del método de control descrito anteriormente.

30 De acuerdo con realizaciones preferidas de la invención, el rectificador puede ser un rectificador controlado de tiristores o, alternativamente, un rectificador no controlado de diodos.

35 De acuerdo con una realización preferida, el sistema comprende además un dispositivo de regulación de potencia reactiva conectado a la barra colectora para realizar el control de frecuencia, por ejemplo un SVC o un STATCOM.

## BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

La figura 1, que corresponde a un caso en que se utiliza un rectificador controlado de tiristores, muestra un parque eólico, representado por aerogenerador (1), conectado a un sistema de transmisión en corriente continua (HVDC), representado por la estación rectificadora (2) y la estación inversora (3), así como el cable dc (4) que enlaza ambas estaciones. La corriente generada por el parque eólico se inyecta en una barra colectora (5) en la que se dispone un banco de condensadores (6). La barra colectora alimenta la estación rectificadora (2) del enlace HVDC. En el otro extremo del enlace HVDC una estación inversora (3) se encarga de inyectar la potencia eléctrica en la red eléctrica (7).

La figura 2 muestra un diagrama vectorial explicativo correspondiente a la configuración de la figura 1 donde se aprecia cómo controlando la componente d o directa  $v_{Cd}$  (9) y la componente q o cuadratura  $v_{Cq}$  (10) del vector de tensión  $v_C$  (11) del condensador se consigue una tensión de magnitud y frecuencia constantes.

La figura 3 muestra el esquema de control del sistema mostrado en la figura 1 con los bloques de transformación de Park de las tensiones instantáneas  $v_{Ca}$ ,  $v_{Cb}$ ,  $v_{Cc}$  (13) y de las corrientes instantáneas  $i_{Ra}$ ,  $i_{Rb}$ ,  $i_{Rc}$  (14), generador del ángulo del sistema de referencia síncrono (15), reguladores de tensión y de frecuencia, (16) y (17), respectivamente, y regulador de corriente del puente rectificador (18).

La figura 4 corresponde a un caso en el que se utiliza un rectificador no controlado de diodos y muestra un sistema con una configuración esencialmente igual a la mostrada en la figura 1 excepto en lo que respecta al propio rectificador, que no presenta la señal de entrada de control de ángulo  $\alpha$  de disparo.

La figura 5 muestra el esquema de control del sistema mostrado en la figura 4 con los bloques de transformación de Park de las tensiones instantáneas  $v_{Ca}$ ,  $v_{Cb}$ ,  $v_{Cc}$  (13), generador del ángulo del sistema de referencia síncrono (15) y regulador de frecuencia, (17). La tensión de eje directo  $V_{Cd}$  viene fijada por la tensión del bus de continua del rectificador y por lo tanto no necesita de una regulación para establecer su valor.

## DESCRIPCIÓN DE REALIZACIONES PREFERIDAS



### Sistema con rectificador controlado de tiristores

Como ya se ha indicado, una primera variante de la invención se refiere a un sistema que permite controlar la tensión y frecuencia en una red aislada mediante un enlace de corriente  
 5 continua, como es el caso de un parque eólico conectado a la red mediante un enlace HVDC, con una estación rectificadora de tiristores.

En referencia a la figura 1, la presente invención resuelve el problema señalado mediante el control de la magnitud y frecuencia de la tensión en un banco de condensadores (6)  
 10 convenientemente dispuesto entre el parque eólico (1) y la estación rectificadora (2). La figura 2 representa un diagrama vectorial en el que se ha representado el vector de tensión en el banco de condensadores  $v_C$  (11) y sus componentes  $v_{Cd}$  y  $v_{Cq}$  en un sistema de referencia síncrono con componente directa d (9) y cuadratura q (10) que gira a una velocidad igual a la pulsación de referencia de la tensión  $\omega^{ref}$ .

15 El sistema de control propuesto orienta el vector de tensión del condensador en la dirección del eje síncrono "d". De esta forma, manteniendo la componente de la tensión  $v_{Cq}=0$  se consigue una tensión de frecuencia constante, igual a la frecuencia de giro del eje síncrono "d". Por otro lado, manteniendo la componente de la tensión  $v_{Cd}$  constante se consigue un  
 20 valor constante de la magnitud de la tensión en el bus colector al que se conecta el parque eólico y la estación rectificadora.

Por otro lado, en un sistema de referencia síncrono "d" la ecuación del condensador resulta:

$$i_{Cd} = C \frac{dv_{Cd}}{dt} - \omega C v_{Cq}$$

$$i_{Cq} = C \frac{dv_{Cq}}{dt} + \omega C v_{Cd}$$

25 La primera ecuación indica que la inyección de corriente activa en el condensador permite controlar la componente  $v_{Cd}$  de tensión y por tanto su módulo de la tensión, siendo la otra componente nula. Mientras que la segunda ecuación indica que la inyección de corriente reactiva en el condensador permite controlar la componente  $v_{Cq}$  de tensión y por tanto la frecuencia de la tensión. Para entender lo anterior, téngase en cuenta que orientada la  
 30 tensión al eje "d" las componentes d-q de la corriente son iguales, respectivamente, a las componentes activa y reactiva de dicha corriente. Además, en régimen estático la componente  $v_{Cq}$  es nula y la componente  $v_{Cd}$  es constante e igual al valor nominal de la tensión, por lo que son las componentes d y q de la corriente quienes pueden provocar

cambios en las componentes d-q de la tensión.

La figura 3 representa un esquema preferente de realización del método de control propuesto. En este esquema la tres tensiones de fase en el banco de condensadores son medidas y transformadas (13) en sus componentes d-q en un sistema de referencia 5 síncrono. La posición del sistema de referencia síncrono  $\theta$  se obtiene directamente mediante integración (15) de la pulsación de referencia deseada. Por ejemplo, en un sistema síncrono de 50 Hz,  $\omega^{\text{ref}}=2\cdot\pi\cdot 50$  rad/s.

10 A continuación, las componentes d-q de la tensión se comparan con los valores de referencia establecidos  $v_{Cd}^{\text{ref}}=v_{\text{nom}}$  y  $v_{Cq}^{\text{ref}}=0$ , respectivamente, y el error de tensión es corregido por medio de sendos reguladores de corriente (16) y (17) que establecerán los valores de inyección de corriente activa y reactiva en el banco de condensadores.

15 Por otro lado, la primera Ley de Kirchhoff en la barra colectora establece que la corriente inyectada al condensador es igual a la corriente inyectada a la barra por el parque eólico menos la corriente tomada de la barra por la estación rectificadora. Vectorialmente:

$$i_{Cd} = i_{Gd} - i_{Rd}$$

$$i_{Cq} = i_{Gq} - i_{Rq}$$

Teniendo en cuenta que orientada la tensión al eje síncrono d, la corriente de eje d es la corriente activa y la corriente de eje q es la corriente reactiva, la primera ecuación indica que 20 la inyección de corriente activa en el condensador es igual a la diferencia de la corriente activa inyectada por el parque eólico en la barra y corriente activa tomada por el rectificador de la barra. La segunda ecuación expresa que la inyección de corriente reactiva en el condensador es igual a la diferencia de la corriente reactiva inyectada por el parque eólico en la barra y corriente reactiva tomada por el rectificador de la barra.

25

En régimen permanente, las derivadas de las componentes de tensión en el condensador son nulas, por lo que las ecuaciones anteriores establecen, por un lado, que la corriente activa inyectada en el condensador es cero, y por tanto, la corriente activa inyectada en la barra por el parque eólico debe ser igual a la corriente activa tomada por el rectificador. Y 30 por otro lado, que la corriente reactiva inyectada en el condensador es constante e igual a  $\omega\cdot C\cdot v_{cd}$ , y por tanto, que la corriente reactiva inyectada en la barra por el parque eólico debe ser igual a la corriente reactiva tomada por el rectificador menos la corriente reactiva constante inyectada por el condensador.

Para garantizar el equilibrio anterior de corrientes, que a su vez, posibilita el control de las tensiones de eje d y q, los reguladores correspondientes generan una referencia de corriente a los elementos de la instalación. Como quiera que la corriente activa inyectada por el parque eólico es una consecuencia directa de la acción del viento sobre los aerogeneradores, esta corriente no puede emplearse para realizar el control de tensión de eje directo, por lo que el equilibrio de corriente activa se realiza por medio del control del ángulo de disparo  $\alpha$  (8) del rectificador controlado (2), que afecta directamente al control de corriente activa tomada por el rectificador.

Por el otro lado, en el eje q, la corriente reactiva absorbida por el rectificador es una función del ángulo de disparo de los tiristores, que al emplearse en el lazo anterior ya no puede usarse como variable de control en este lazo. Es por ello, que el control de tensión de eje q se realiza por medio de la inyección de corriente reactiva en la barra colectora. Esto puede realizarse por medio de la regulación de reactiva de los aerogeneradores del parque eólico, enviando una consigna de reactiva adecuada a cada aerogenerador, o por medio de cualquier otro dispositivo de regulación de reactiva conectado a la barra, como un SVC o un STATCOM.

En definitiva, las expresiones anteriores demuestran que manteniendo las componentes del vector de tensión en sus valores de referencia,  $v_{Cd}^{ref}=v_{nom}$  y  $v_{Cq}^{ref}=0$ , la potencia activa inyectada por el parque eólico es igual a la potencia activa evacuada por el rectificador y la potencia reactiva inyectada por el parque eólico es igual a la potencia reactiva consumida por el rectificador menos la corriente reactiva constante inyectada por el condensador. Es decir, el control de tensión y frecuencia propuesto garantiza en todo momento el balance instantáneo de las potencias activa y reactiva.

Cuando se produce una variación de potencia activa por una variación de la velocidad del viento, se produce un desequilibrio transitorio de potencia activa en la barra colectora que es absorbido por el banco de condensadores provocando una pequeña variación de la magnitud de la tensión que es rápidamente compensada mediante la variación del ángulo de disparo de los tiristores según el esquema de regulación propuesto. A su vez, esta actuación en el eje directo provoca un desequilibrio transitorio de potencia reactiva en la barra colectora que absorbido por el banco de condensadores provoca una pequeña variación de la frecuencia de la tensión, y por tanto de la tensión de eje q, que es rápidamente compensada mediante la inyección de reactiva en la barra colectora.

### Sistema con rectificador no controlado de diodos

En esta segunda variante, la invención se refiere a un dispositivo que permite controlar la tensión y frecuencia en una red aislada mediante un enlace de corriente continua, como es el caso de un parque eólico conectado a la red mediante un enlace HVDC con una estación rectificadora no controlada de diodos.

En referencia a la figura 4, la presente invención resuelve el problema señalado mediante el control de la magnitud y frecuencia de la tensión en un banco de condensadores (6) convenientemente dispuesto entre el parque eólico (1) y la estación rectificadora (2).

El diagrama vectorial mostrado en la figura 2 continúa siendo válido para representar en esta segunda variante el vector de tensión en el banco de condensadores  $v_C$  (11) y sus componentes  $v_{Cd}$  y  $v_{Cq}$  en un sistema de referencia síncrono d (9) y q (10) que gira a una velocidad igual a la pulsación de referencia de la tensión  $\omega^{ref}$ .

El sistema de control propuesto orienta el vector de tensión del condensador en la dirección del eje síncrono "d". De esta forma, manteniendo la componente de la tensión  $v_{Cq}=0$  se consigue una tensión de frecuencia constante, igual a la frecuencia de giro del eje síncrono "d". Por otro lado, manteniendo la componente de la tensión  $v_{Cd}$  constante se consigue un valor constante de la magnitud de la tensión en el bus colector al que se conecta el parque eólico y la estación rectificadora.

Por otro lado, en un sistema de referencia síncrono "d" la ecuación del condensador resulta:

$$i_{Cd} = C \frac{dv_{Cd}}{dt} - \omega C v_{Cq}$$

$$i_{Cq} = C \frac{dv_{Cq}}{dt} + \omega C v_{Cd}$$

La primera ecuación indica que la inyección de corriente activa en el condensador permite controlar la componente  $v_{Cd}$  de tensión y por tanto su módulo de la tensión, siendo la otra componente nula. La segunda ecuación indica que la inyección de corriente reactiva en el condensador permite controlar la componente  $v_{Cq}$  de tensión y por tanto la frecuencia de la tensión. Para entender lo anterior, téngase en cuenta que orientada la tensión al eje "d" las componentes d-q de la corriente son iguales, respectivamente, a las componentes activa y reactiva de dicha corriente. Además, en régimen estático la componente  $v_{Cq}$  es nula y la componente  $v_{Cd}$  es constante e igual al valor nominal de la tensión, por lo que son las

componentes d y q de la corriente quienes pueden provocar cambios en las componentes d-q de la tensión.

5 La figura 5 representa un esquema preferente de realización del método de control propuesto. En este esquema la tres tensiones de fase en el banco de condensadores son medidas y transformadas (1) en sus componentes d-q en un sistema de referencia síncrono. La posición del sistema de referencia síncrono  $\theta$  se obtiene directamente mediante integración (15) de la pulsación de referencia deseada. Por ejemplo, en un sistema síncrono de 50 Hz,  $\omega^{\text{ref}} = 2 \cdot \pi \cdot 50$  rad/s.

10

A continuación, las componentes q de la tensión se comparan con el valor de referencia  $v_{Cq}^{\text{ref}}=0$  y el error de tensión es corregido por medio de un regulador de corriente que establecerá el valor de inyección de corriente reactiva en el banco de condensadores.

15 El aspecto fundamental de esta segunda configuración de la presente invención consiste en darse cuenta que la regulación de la tensión en el eje d,  $v_{Cd}$ , no es necesario ni deseable, pues el funcionamiento intrínseco del rectificador no controlado y del enlace de continua ya establece el balance de potencia activas en condensador, lo que a su vez lleva a obtener un valor determinado de la tensión en el condensador  $v_{Cd}$ .

20

Así, la primera Ley de Kirchhoff en la barra colectora establece que la corriente inyectada al condensador es igual a la corriente inyectada a la barra por el parque eólico menos la corriente tomada de la barra por la estación rectificadora. Vectorialmente:

$$i_{Cd} = i_{Gd} - i_{Rd}$$

$$i_{Cq} = i_{Gq} - i_{Rq}$$

25 Teniendo en cuenta que orientada la tensión al eje síncrono d, la corriente de eje d es la corriente activa y la corriente de eje q es la corriente reactiva, la primera ecuación indica que la inyección de corriente activa en el condensador es igual a la diferencia de la corriente activa inyectada por el parque eólico en la barra y corriente activa tomada por el rectificador de la barra. La segunda ecuación expresa que la inyección de corriente reactiva en el condensador es igual a la diferencia de la corriente reactiva inyectada por el parque eólico en la barra y corriente reactiva tomada por el rectificador de la barra.

30

En régimen permanente, las derivadas de las componentes de tensión en el condensador son nulas, por lo que las ecuaciones anteriores establecen, por un lado, que la corriente activa inyectada en el condensador es cero, y por tanto, la corriente activa inyectada en la

5 barra por el parque eólico debe ser igual a la corriente activa tomada por el rectificador. Y por otro lado, que la corriente reactiva inyectada en el condensador es constante e igual a  $\omega \cdot C \cdot v_{cd}$ , y por tanto, que la corriente reactiva inyectada en la barra por el parque eólico debe ser igual a la corriente reactiva tomada por el rectificador menos la corriente reactiva constante inyectada al condensador.

10 Para garantizar el equilibrio anterior de corrientes, que a su vez, posibilita el control de las tensiones de eje d y q, el regulador de corriente de eje q genera una referencia de corriente a los elementos de generación/absorción de corriente reactiva de la instalación. Por otro lado, la corriente activa inyectada por el parque eólico es una consecuencia directa de la acción del viento sobre los aerogeneradores, esta corriente no puede emplearse para realizar el control de tensión de eje directo, pero el equilibrio de corriente activa se realiza de forma pasiva por el rectificador no controlado (2). Efectivamente, en un rectificador no controlado existe una relación fija entre la tensión de entrada de alterna y la tensión de salida de continua. Fijándose en el enlace HVDC un valor de la tensión de continua, por medio del inversor del enlace, el rectificador del enlace estará bloqueado en tanto no se alcance un valor de tensión alterna suficiente. En esta circunstancia, la corriente activa generada por el parque eólico se inyectará en el condensador elevando su tensión. La tensión aumentará hasta que alcance un valor tal que los diodos del rectificador no controlado entren en conducción. En este momento, la corriente activa inyectada por el parque eólico es automáticamente transferida por el rectificador al enlace HVDC, estableciéndose un balance de corrientes activa en la barra del condensador y obteniéndose un valor fijo de la tensión en el condensador. Despreciando la caída de tensión en los diodos, la relación entre el valor eficaz de la tensión de línea alterna de entrada y el valor medio de la tensión continua de salida es:  $V_{DC}=1,35 \cdot V_{AC}$ . Es decir, que para una tensión del enlace HVDC, impuesta por el inversor del mismo (3), se alcanzará un equilibrio de tensiones en el lado de alterna del rectificador que aproximadamente viene dado por la expresión anterior. Partiendo de este equilibrio, un aumento de potencia generada por los aerogeneradores del parque eólico produciría inicialmente un aumento de la tensión en el condensador, que llevaría automáticamente a un aumento de la corriente en el enlace HVDC, restableciéndose el equilibrio de corrientes activas sobre el condensador con un nuevo valor de la tensión, pero en cualquier caso acotada por la expresión anterior.

35 Por otro lado, en el eje q, el control de tensión de eje q se realiza por medio de la inyección de corriente reactiva en la barra colectora. Esto puede realizarse por medio de la regulación de reactiva de los aerogeneradores del parque eólico, enviando una consigna de reactiva

adecuada a cada aerogenerador, o por medio de cualquier otro dispositivo de regulación de reactiva conectado a la barra, como un SVC o un STATCOM.

5 En definitiva, las expresiones anteriores demuestran que manteniendo la componente del vector de tensión en el eje q en su valor de referencia,  $v_{Cq}^{ref}=0$ , la potencia reactiva inyectada por el parque eólico es igual a la potencia reactiva consumida por el rectificador. Por otro lado, el balance de potencia activa es automáticamente impuesto por el rectificador no controlado de diodos, obteniendo como resultado un valor eficaz de la tensión de alterna. Es decir, el control de frecuencia propuesto garantiza en todo momento el balance  
10 instantáneo de la potencia reactiva, mientras que el balance de potencias activas impuesto por el rectificador garantiza un valor determinado de la tensión de alterna.

**REIVINDICACIONES**

5 1. Método para el control de la tensión y la frecuencia en una red aislada que comprende  
una barra colectora (5) que recibe energía de al menos un aerogenerador (1) y la evacúa  
mediante un rectificador (2) hacia un enlace (4) de transmisión de corriente continua,  
estando la barra colectora (5) conectada a un banco de condensadores (6), que comprende  
10 el paso de mantener constantes la componente directa  $d$  (9) y cuadratura  $q$  (10) del vector  
de tensión (11) en la barra colectora (5) para mantener constantes la magnitud y frecuencia  
de la tensión en la barra colectora (5) respectivamente, caracterizado por que:

- la componente cuadratura  $q$  (10) del vector de tensión (11) se mantiene constante  
regulando la corriente reactiva inyectada en la barra colectora (5),

15

- la componente directa  $d$  (9) del vector de tensión (11), cuando el rectificador (2) es un  
rectificador no controlado de diodos, se regula automáticamente de forma pasiva,  
estableciéndose un valor determinado de la tensión alterna partiendo de una tensión  
continua establecida, y

20

- la componente directa  $d$  (9) del vector de tensión (11), cuando el rectificador (2) es un  
rectificador controlado de tiristores, se mantiene constante controlando el ángulo de disparo  
(8) de los tiristores para que dicho rectificador (2) absorba toda la potencia activa generada  
por el aerogenerador (1).

25

2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, donde el control de la corriente reactiva  
inyectada en la barra colectora (5) se realiza mediante la regulación de la potencia reactiva  
generada por el aerogenerador (1).

30 3. Método de acuerdo con la reivindicación 1, donde el control de la corriente reactiva  
inyectada en la barra colectora (5) se realiza mediante un dispositivo de regulación de  
reactiva conectado a dicha barra colectora (5).

4. Método de acuerdo con la reivindicación 3, donde el dispositivo de regulación de reactiva  
35 es un SVC o un STATCOM.



5. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el control del ángulo de disparo (8) de los tiristores del rectificador (2) se realiza de forma directa o de forma indirecta mediante un lazo subordinado de control.

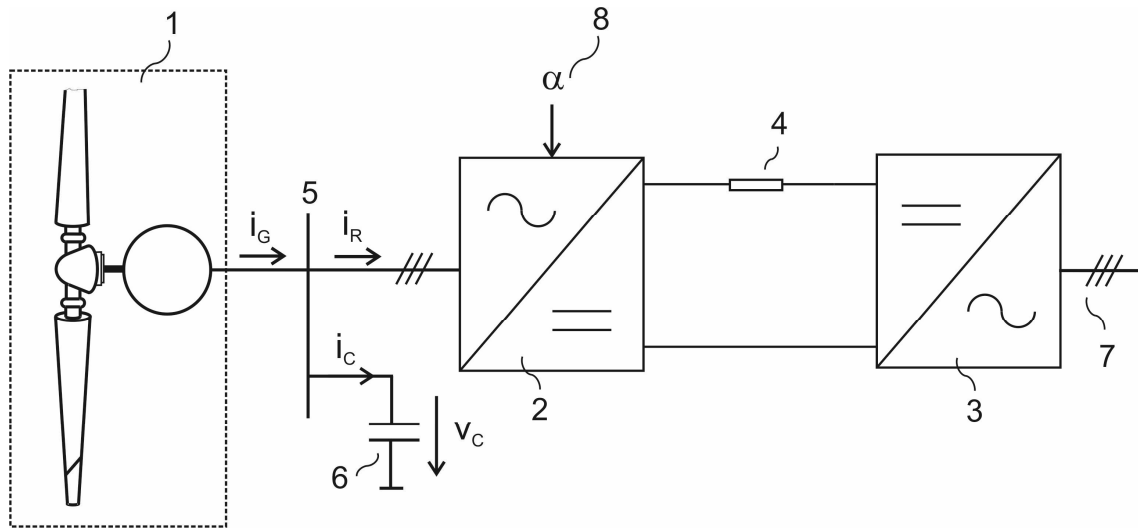


FIG. 1

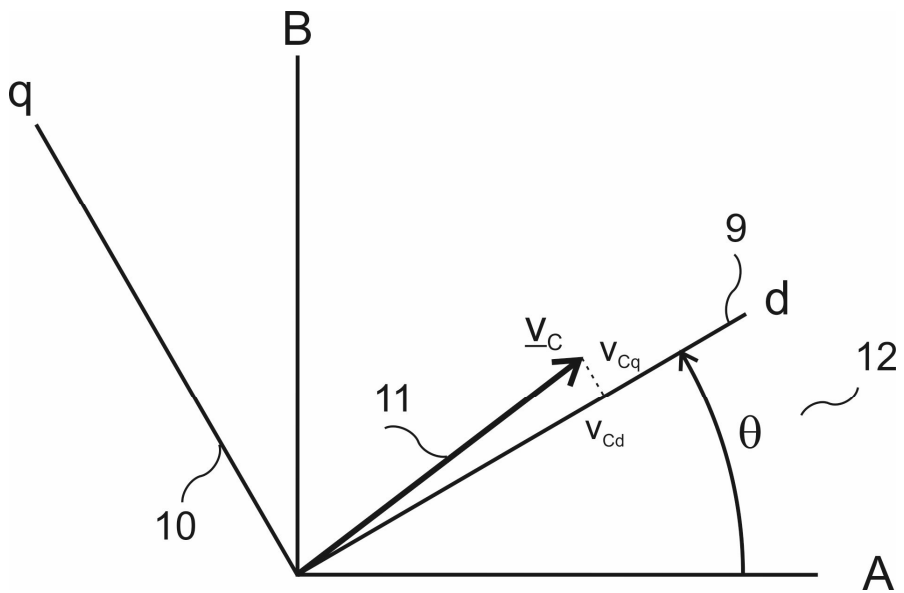


FIG. 2

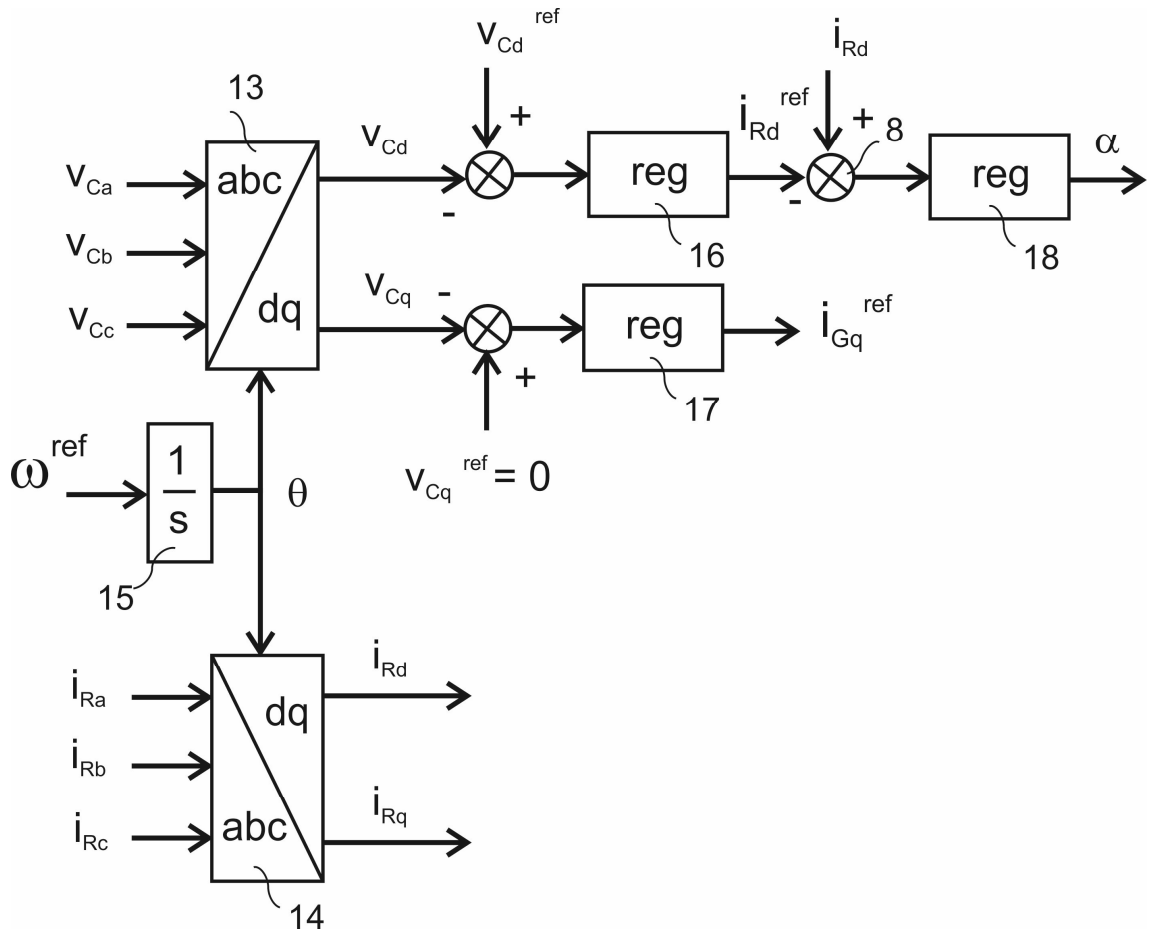


FIG. 3

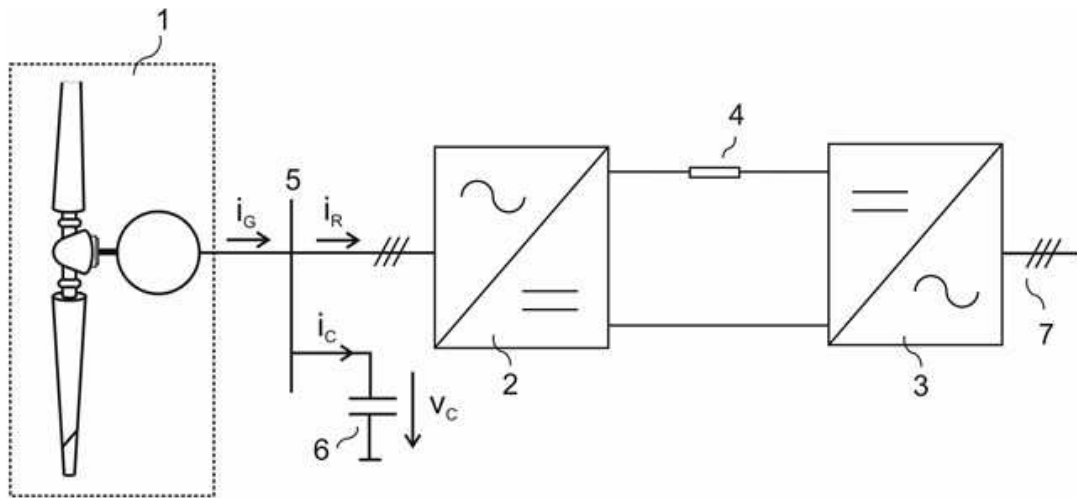


FIG. 4

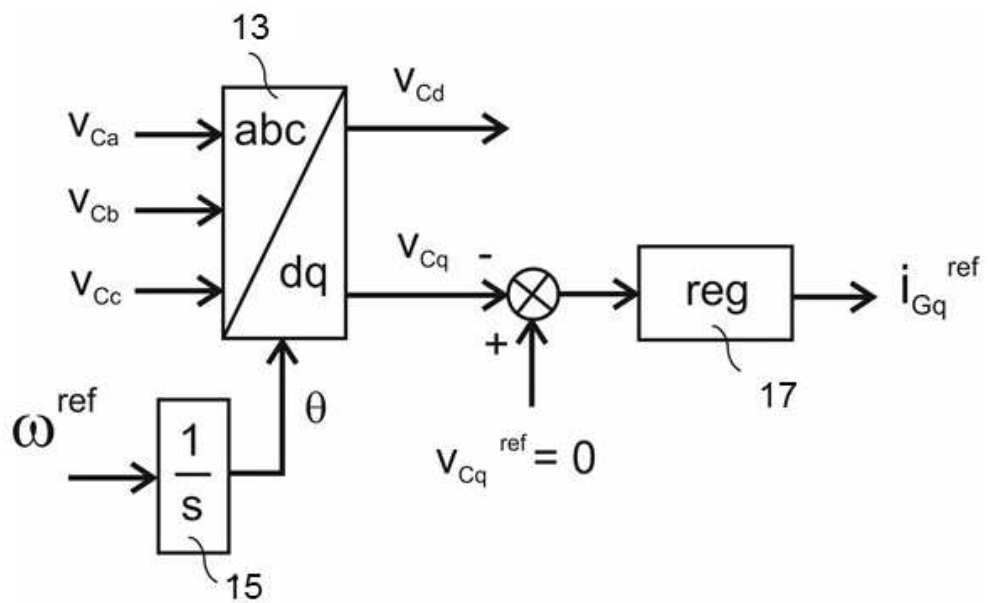


FIG. 5



- ②<sup>1</sup> N.º solicitud: 201530410  
②<sup>2</sup> Fecha de presentación de la solicitud: 27.03.2015  
③<sup>2</sup> Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤<sup>1</sup> Int. Cl.: **H02J3/18** (2006.01)  
H02J3/36 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤ <sup>6</sup> Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	ES 2358816 A1 (UNIV VALENCIA POLITECNICA) 16.05.2011, todo el documento.	1-14
X	Control directo de potencia de convertidores electrónicos conectados a la red. Datasheet [en línea]. ELOY-GARCÍA CARRASCO, JOAQUÍN .Julio 2007 [recuperado el 08.06.2015]. Recuperado de internet: <a href="http://e">http://e</a>archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/2371/Tesis_J_Eloy-Garcia.pdf?sequence=1	1-14

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia  
Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría  
A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita  
P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud  
E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones n.º:

Fecha de realización del informe  
08.06.2015

Examinador  
R. Molinera de Diego

Página  
1/5

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

H02P, H02J

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 08.06.2015

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 2-14	<b>SI</b>
	Reivindicaciones 1	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones	<b>SI</b>
	Reivindicaciones 1-14	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	ES 2358816 A1 (UNIV VALENCIA POLITECNICA)	16.05.2011
D02	Control directo de potencia de convertidores electrónicos conectados a la red. Datasheet [en línea]. ELOY-GARCÍA CARRASCO, JOAQUÍN .Julio 2007 [recuperado el 08.06.2015]. Recuperado de internet: <a href="http://e">http://e</a> archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/2371/Tesis_J_Eloy-Garcia.pdf?sequence=1	

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

De todos los documentos recuperados del estado de la técnica se considera que el documento D1 es el más próximo a la solicitud que se analiza. A continuación se comparan las reivindicaciones de la solicitud con este documento.

**Primera reivindicación:**

El documento D1 muestra un método para el control de la tensión y la frecuencia en una red aislada que comprende una barra colectora que recibe energía de al menos un aerogenerador y la evacúa mediante un rectificador hacia un enlace de transmisión de corriente continua, estando la barra colectora conectada a un banco de condensadores, además comprende el paso de mantener constante el vector de tensión en la barra colectora para mantener constantes la magnitud y frecuencia de la tensión en la barra colectora.

El hecho de mantener constantes las componentes directa y cuadratura es una característica implícita, ya que al mantener constante el vector tensión implica mantener constante cualquier descomposición posible del vector.

Por lo tanto, el objeto de la reivindicación primera no tiene novedad, tal y como se define en el Artículo 6 de la Ley Española de Patentes, Ley 11/1986 del 20 de Marzo.

**Segunda reivindicación:**

El mantener nula la componente cuadratura  $q$  del vector de tensión en la barra colectora para conseguir el balance instantáneo de la potencia reactiva en la barra colectora es una característica conocida en el Estado de la Técnica, para reforzar este argumento se cita con X el documento D2 en el que se divulga que en condiciones equilibradas la componente  $q$  es constantemente nula cuando se proyecta sobre su propio vector.

Por lo tanto, el objeto de la reivindicación segunda no parece que implique actividad inventiva, tal y como se define en el Artículo 8 de la Ley Española de Patentes, Ley 11/1986 del 20 de Marzo.

**Tercera, cuarta y quinta reivindicaciones:**

El documento D1 balancea la potencia reactiva en la barra colectora.

Por tanto, las reivindicaciones tercera, cuarta y quinta no parece que impliquen actividad inventiva.

**Sexta reivindicación:**

El documento D1 dispone de un STATCOM como dispositivo de regulación de reactiva.

Por tanto, la reivindicación sexta no parece que implique actividad inventiva.

**Séptima reivindicación:**

No parece que tenga un efecto sorprendente el hecho de que el balance de activa se consiga controlando el ángulo de disparo de los tiristores para que el rectificador absorba toda la potencia activa generada por el aerogenerador, es una práctica muy común, y por lo tanto, la séptima reivindicación no parece que implique actividad inventiva.

**Reivindicaciones octava y novena:**

Los detalles contenidos en estas reivindicaciones o bien se encuentran de manera explícita en los documentos citados, o bien se encuentran de manera implícita en dichos documentos, o serían evidentes para un experto en la materia que partiera de D1 en la fecha en la que la solicitud se presentó. Se considera que ninguna de estas reivindicaciones contiene una diferencia relevante con respecto a los documentos citados. Por lo tanto, estas reivindicaciones parece que carecerían de actividad inventiva.

**Reivindicaciones décima, undécima, décimo segunda, décimo tercera, décimo cuarta:**

A la vista de lo que se conoce de los documentos citados, no se considera que requiera ningún esfuerzo inventivo para un experto en la materia desarrollar un sistema como el descrito en estas reivindicaciones. Por consiguiente, no parece que implicaría actividad inventiva la invención reivindicada en estas reivindicaciones.



Tal como indica el artículo 5.2.c del Reglamento 2245/1986 de ejecución de la Ley de Patentes, y con objeto de obtener una mejor comprensión de la invención, se sugiere que en fases posteriores del procedimiento se incluyan en la descripción una indicación de los documentos D1 y D2, comentando cuál es la aportación más importante que hacen al estado de la técnica. Dicha indicación no puede ampliar el objeto de la invención, tal y como fue originalmente presentada.