

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 804 474**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38 (2006.01)

F03D 9/25 (2006.01)

H02J 3/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **23.02.2011 PCT/EP2011/052678**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.09.2011 WO11104273**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.02.2011 E 11705869 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.07.2020 EP 2539585**

54 Título: **Método y disposición de control para controlar una fuente de potencia reactiva**

30 Prioridad:

25.02.2010 US 308132 P
25.02.2010 DK 201070069

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.02.2021

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 44
8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

GARCIA, JORGE MARTINEZ

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 804 474 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método y disposición de control para controlar una fuente de potencia reactiva

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un método y a una disposición de control para controlar una fuente de potencia reactiva en una instalación de planta de energía eólica. En particular, la presente invención se refiere a un método y a una disposición de control para controlar una fuente de potencia reactiva a diferentes niveles de potencia activa.

Antecedentes de la invención

10 Con la creciente penetración de la generación de energía eólica, los requisitos para la conexión de las plantas de energía eólica (WPP) a la red eléctrica se definen mediante nuevos y emergentes códigos de conexión a la red. Los requisitos de conexión a la red varían en diferentes partes del mundo, pero comparten objetivos comunes, como permitir el desarrollo, el mantenimiento y la operación de un sistema de transmisión o distribución coordinado, fiable y económico.

15 Los nuevos requisitos generalmente demandan que las WPP proporcionen servicios auxiliares para soportar la red en la que están conectadas. Las WPP difieren de otras fuentes de generación - por lo tanto son particulares en ciertos aspectos de su control.

Las principales diferencias con los generadores síncronos (SG) son de la siguiente manera:

- la fuente de energía fluctúa y es impredecible,
 - las WPP son altamente modulares y están compuestas por un gran número de unidades de generación, introduciendo de este modo retardos de comunicación cuando se envían los puntos de ajuste operativos, y estos podrían estar en el intervalo de centésimas de milisegundos,
 - los SG proporcionan la alimentación de potencia reactiva directamente al sistema de transmisión a través de su transformador de unidad que proporciona una regulación de tensión más eficiente dado que la potencia reactiva no se transporta sobre una larga distancia y a través de varios transformadores, y
 - los generadores de aerogeneradores (WTG) tienen mayores limitaciones en su potencia reactiva y capacidad de corriente debido al tamaño de sus convertidores de potencia electrónicos.
- 20
- 25

Por lo tanto, sustituir las plantas de energía tradicionales, incluyendo sus características de control durante los períodos de fuerte viento, podría ser una preocupación. Los operadores de la red están resolviendo este desafío por medio de la redacción de secciones específicas en los códigos de la red para el rendimiento de las WPP.

30 Normalmente, los requisitos de las empresas de servicios públicos se pueden resolver por los aerogeneradores y el controlador de planta. El control de la planta de energía eólica puede tener lugar a nivel de aerogenerador y/o a nivel de planta. El controlador de WPP puede variar desde simplemente pasar referencias a los sistemas de control de aerogenerador hasta realizar la mayoría de los controles de bucle cerrado en sí mismos.

35 En la medida que se activa control de tensión mediante la potencia reactiva de los aerogeneradores, es posible afirmar que el diseño de control de tensión cubrirá un bucle interno de control de tensión/potencia reactiva, situado a nivel de turbina combinado con un bucle de control de tensión externo situado en el punto de acoplamiento común (PCC) donde se pretende controlar la tensión.

40 No obstante, a altos niveles de potencia activa puede ocurrir que los aerogeneradores, en particular generadores de inducción doblemente alimentados, no sean capaces de proporcionar suficiente potencia reactiva para el control de tensión. En tal situación, se pueden activar fuentes de potencia reactiva adicionales con el fin de asegurar que una planta de energía eólica cumpla con el requisito del código de la red.

Se puede ver como un objeto de las realizaciones de la presente invención proporcionar un método y una disposición de control para controlar una fuente de potencia reactiva, en particular, a altos niveles de potencia activa.

45 Además, aquí se identifica el documento de patente US 2007/097565 A1, con relación a un sistema de generación de energía distribuida y a un método de estabilización del sistema de energía asociado como en el preámbulo de las reivindicaciones dependientes 1 y 10.

Descripción de la invención

50 El objeto mencionado anteriormente se cumple proporcionando, en un primer aspecto, un método para controlar una fuente de potencia reactiva en una planta de energía eólica que comprende una pluralidad de aerogeneradores, la fuente de potencia reactiva que es una fuente de energía capacitiva o inductiva o una combinación de las mismas, el método comprende los pasos de:

- proporcionar una señal de control de potencia reactiva de aerogenerador para un aerogenerador de la planta de energía eólica,

- proporcionar una señal de referencia de potencia activa, dicha señal de referencia de potencia activa que es una medida de una producción de potencia activa de la planta de energía eólica, y

5 - generar una señal de control para la fuente de potencia reactiva combinando la señal de control de potencia reactiva de aerogenerador y la señal de referencia de potencia activa.

El término fuente de potencia reactiva es una fuente de energía capacitiva o inductiva, o alternativamente una combinación de las mismas. De este modo, la fuente de potencia reactiva puede ser, por ejemplo, un compensador síncrono estático (STATCOM) adecuado para inyectar potencia reactiva en una red de suministro de energía con el fin de cumplir un soporte de tensión de la red requerido.

También, el término planta de energía eólica se debería entender de manera amplia, cubriendo, de este modo, tanto instalaciones de aerogeneradores a gran escala como configuraciones de generador de inducción doblemente alimentado (DFIG). No obstante, el método mencionado anteriormente es de particular relevancia para las configuraciones de DFIG.

15 Las señales de control de potencia reactiva de aerogenerador se pueden generar para cada aerogenerador dentro de la planta de energía eólica.

La señal de referencia de potencia activa también puede ser una medida de la velocidad del viento en el sitio de la planta de energía eólica.

20 La señal de control de potencia reactiva de aerogenerador, denotada V_{ref} en la Fig. 4, y la señal de referencia de potencia activa, denotada K en la Fig. 4, se pueden combinar de tal forma que la señal de control para la fuente de potencia reactiva, denotada $V_{ref_STATCOM}$ en la Fig. 4, es una señal ponderada de la señal de control de potencia reactiva de aerogenerador. Se debería observar que la señal de control para la fuente de potencia reactiva puede ser aplicable para otras fuentes de potencia reactiva distintas de un STATCOM.

25 Es ventajoso que la señal de control para la fuente de potencia reactiva esté vinculada a la señal de control de potencia reactiva de aerogenerador. Los factores de ponderación pueden depender de la cantidad de potencia activa producida u otras señales relativas a la producción de potencia activa, tales como la velocidad del viento, y los factores de ponderación se pueden definir en una tabla de búsqueda incrustada en un chip.

30 La señal de referencia de potencia activa puede aumentar de manera monótona con la producción de potencia activa de la planta de energía eólica como se ilustra en la tabla 2. En particular, la señal de referencia de potencia activa puede variar entre cero y la unidad dependiendo de la producción de potencia activa de la planta de energía eólica. Como ejemplo, la señal de referencia de potencia activa puede ser igual a cero cuando no se produce potencia activa y puede ser igual a uno en la producción de potencia activa nominal.

35 Preferiblemente, la señal de control para la fuente de potencia reactiva, denotada $V_{ref_STATCOM}$, se genera por multiplicación de la señal de control de potencia reactiva de aerogenerador, denotada V_{ref} , y la señal de referencia de potencia activa, denotada K – véase la Fig. 4. De esta forma, la señal de control para la fuente de potencia reactiva puede variar entre cero y el valor real de la señal de control de potencia reactiva de aerogenerador.

Una descripción más detallada de la Fig. 4 seguirá a continuación.

40 En un segundo aspecto, la presente invención se refiere a una planta de energía eólica que comprende una pluralidad de aerogeneradores y un despachador de control, dicho despachador de control que está adaptado, al menos parcialmente, para controlar al menos una fuente de potencia reactiva y al menos un aerogenerador en la planta de energía eólica, la fuente de potencia reactiva que es una fuente de energía capacitiva o inductiva o una combinación de las mismas, el despachador de control que comprende,

- medios para recibir una señal de control de potencia reactiva de aerogenerador para un aerogenerador de la planta de energía eólica,

45 - medios para generar una señal de referencia de potencia activa a partir de una medida de una producción de potencia activa de la planta de energía eólica, y

- medios para generar una señal de control para la fuente de potencia reactiva combinando la señal de control de potencia reactiva de aerogenerador y la señal de referencia de potencia activa.

50 De nuevo, el término fuente de potencia reactiva es una fuente de energía capacitiva o inductiva, o alternativamente una combinación de las mismas. De este modo, la fuente de potencia reactiva puede ser, por ejemplo, un STATCOM adecuado para inyectar potencia reactiva en una red de suministro de energía con el fin de cumplir un soporte de tensión de la red requerido. También, el término planta de energía eólica se debería entender ampliamente cubriendo de este modo tanto instalaciones de aerogeneradores a gran escala como configuraciones

de DFIG. No obstante, el despachador de control mencionado anteriormente es de particular relevancia para configuraciones de DFIG.

Similar al primer aspecto de la presente invención, la señal de referencia de potencia activa también puede ser una medida de la velocidad del viento en el sitio de la planta de energía eólica.

5 El despachador de control puede formar una parte integral del controlador de WPP y su funcionalidad es principalmente dividir la referencia calculada por el controlador de WPP en las diferentes unidades de generación de energía que constituyen la WPP, tales unidades que son típicamente los aerogeneradores y la fuente de potencia reactiva.

10 De nuevo con referencia a la Fig. 4, la señal de control de potencia reactiva de aerogenerador se denota V_{ref} , la señal de referencia de potencia activa se denota K , y la señal de control para la fuente de potencia reactiva se denota $V_{ref_STATCOM}$. Se debería observar que la señal de control para la fuente de potencia reactiva puede ser aplicable a otras fuentes de potencia reactiva distintas de un STATCOM.

Los medios para generar una señal de referencia de potencia activa pueden comprender un filtro paso bajo para filtrar paso bajo la medida de la producción de potencia activa de la planta de energía eólica.

15 No obstante, los medios para generar la señal de control para la fuente de potencia reactiva pueden comprender medios para multiplicación de la señal de control de potencia reactiva de aerogenerador y la señal de referencia de potencia activa.

20 Es ventajoso que la señal de control para la fuente de potencia reactiva llegue a estar vinculada ponderando la señal de control de potencia reactiva de aerogenerador por tal multiplicación. Los factores de ponderación pueden depender de la cantidad de potencia activa producida, y los factores de ponderación se pueden definir en una tabla de búsqueda incrustada en un chip.

El despachador de control se puede configurar para pasar a través de la señal de control de potencia reactiva de aerogenerador recibida esencialmente sin modificar dicha señal de control de potencia reactiva de aerogenerador recibida.

25 **Breve descripción de los dibujos**

La presente invención se explicará ahora con más detalles con referencia a los dibujos que se acompañan, en donde

la Fig. 1 muestra a) un diagrama doblemente alimentado simplificado, y b) un diagrama de controlador doblemente alimentado simplificado,

30 la Fig. 2 muestra un gráfico P-Q doblemente alimentado,

la Fig. 3 muestra un diagrama de planta de energía eólica, y

la Fig. 4 muestra un diagrama de despachador de control.

35 Aunque la invención es susceptible de diversas modificaciones y formas alternativas, se han mostrado realizaciones específicas a modo de ejemplo en los dibujos y se describirán en detalle en la presente invención. Se debería entender, no obstante, que la invención no se pretende que se limite a las formas particulares descritas. Más bien, la invención ha de cubrir todas las modificaciones, equivalentes y alternativas que caen dentro del alcance de la invención como se define por las reivindicaciones adjuntas.

Descripción detallada de la invención

40 En principio, la presente invención se refiere a diversos tipos de configuraciones de aerogeneradores, incluyendo instalaciones de aerogeneradores a gran escala y, en particular, configuraciones de DFIG. Dado que la presente invención es de particular relevancia para configuraciones de DFIG, la invención se describirá, a continuación, con referencia a tales configuraciones.

45 El generador de velocidad variable doblemente alimentado, véase la Fig. 1a, permite el completo control de la potencia activa y reactiva del generador usando el convertidor de frecuencia conectado al rotor. Su clasificación es típicamente del orden de 0.3 pu. Operando tanto con velocidad sub y súper síncrona, la potencia se puede alimentar tanto dentro como fuera del circuito del rotor. El convertidor conectado al rotor puede emplear diversas soluciones de disipación de potencia durante transitorios severos. Estas soluciones pueden implicar una palanca activa, que se sitúa en los terminales del rotor, o un seccionador en el enlace de DC, R_{ch} – véase la Fig. 1a. El convertidor de la red se usa para regular el nivel de tensión del enlace de DC.

50 Un diagrama de control simplificado del controlador de DIG se representa en la Fig. 1b, donde la potencia activa, P y la potencia reactiva, Q , se controlan usando los ejes d y q , respectivamente. El controlador de DFIG calcula o recibe

referencias de potencia, P_{ref} , Q_{ref} , de un controlador externo. Estas referencias de potencia se procesan usando dos controladores PI en cascada; y generarán las referencias de tensión necesarias, $V_{d ref}$, $V_{q ref}$, que se trasladan por el PWM para impulsar el convertidor de rotor. Finalmente, el rotor se alimenta con una tensión que produce la P y Q deseadas en los terminales del estator.

5 La Fig. 2 muestra un gráfico P-Q obtenido de los terminales del estator de una máquina de DFIG. La asimetría con respecto a la inyección de Q es debida a la excitación del generador. Se pueden inyectar todas las combinaciones de P-Q dentro del área trazada. Claramente, la inyección máxima de Q es dependiente del valor de P actual, de este modo, $Q_{max} = f(P)$. La relación Q/P obtiene su valor máximo a alrededor del 10% de inyección de potencia activa.

Las coordenadas del gráfico P-Q de DFIG se enumeran en la Tabla 1:

Punto	P	Q	Unidad en base de WTG
0	0	10	[%]
1	10	60	[%]
2	70	60	[%]
3	100	20	[%]
4	100	30	[%]
5	85	60	[%]
6	10	60	[%]
7	0	15	[%]

Tabla 1

De este modo, a partir de la Fig. 2 y la tabla 1 está claro que la naturaleza de una configuración de DFIG establece un límite superior a la potencia reactiva disponible en el régimen de alta potencia activa. Por ejemplo, que va desde el punto de trabajo (P_2 , Q_2) al punto de trabajo (P_3 , Q_3), la cantidad de potencia reactiva, Q, necesita ser reducida del 60% al 20% de la potencia nominal con el fin de aumentar la potencia activa, P, del 70% al 100% de la potencia nominal.

En la planta de energía eólica, el soporte de potencia reactiva se puede proporcionar por una unidad de generación de energía distinta de los aerogeneradores. De este modo, puede ser ventajoso activar tal otra unidad de generación de potencia reactiva cuando los aerogeneradores de la planta de energía eólica se operan en o cerca de sus niveles de potencia nominal. Una unidad de generación de potencia reactiva puede ser un STATCOM.

El STATCOM basado en un convertidor de fuente de tensión es uno de los dispositivos más usados para soporte de potencia reactiva. Los STATCOM se encuentran en creciente utilización en los sistemas de energía debido a su capacidad para proporcionar un rendimiento mejorado en comparación con los convertidores convencionales basados en tiristores. El propósito principal de un STATCOM es soportar la tensión de la barra colectora proporcionando una potencia reactiva capacitiva e inductiva apropiada al sistema. También es capaz de mejorar la estabilidad de estado transitorio y de estado estable de un sistema de potencia. Por lo tanto, los sistemas STATCOM se han usado inicialmente para mejorar la flexibilidad y la fiabilidad de los sistemas de transmisión de potencia.

Con referencia ahora a la Fig. 3, se requiere un controlador de WPP para controlar las características de la potencia inyectada en el PCC. Por lo tanto, se necesita un controlador de planta centralizado (Ctrl. de WPP) para supervisar la potencia inyectada en el PCC. El controlador de la planta recibe las referencias y la retroalimentación (mediciones) y emite los puntos de ajuste de la turbina. El controlador de planta está formado por un dispositivo de medición, que detecta las corrientes y las tensiones en el PCC, un ordenador dedicado que asigna los algoritmos de control, y un centro de comunicación. El centro de comunicación intercambiará referencias de control y otras señales con una gran cantidad de WTG (Ctrl. de WPP) y otros dispositivos situados en la subestación.

Aún con referencia a la Fig. 3, el despachador del controlador de WPP tiene la funcionalidad de dividir la referencia calculada por el controlador de WPP en las diferentes unidades de generación de potencia que constituyen la WPP. La forma de dividir la referencia se puede hacer siguiendo varias estrategias, por ejemplo, minimización de la pérdida de producción de energía. La estrategia sugerida en vista de la presente invención se basa en el uso del STATCOM como respaldo de potencia reactiva para el sistema en caso de que la potencia reactiva inyectada por los WTG no sea suficiente para el cumplimiento del código de la red.

En la Fig. 4, el bloque despachador se ilustra de una forma esquemática. La potencia activa, P_m , medida en el PCC se filtra con un filtro paso bajo y se usa para calcular un factor K con una tabla de búsqueda. P_m se puede sustituir

en consecuencia por la velocidad del viento. El factor K varía entre 0 y 1, y se multiplica por la referencia V_{ref} , que se calcula por el controlador de WPP, obteniendo de este modo la referencia para el STATCOM, $V_{ref_STATCOM}$.

5 Como se representa en la Fig. 4, el número de WTG en línea, N, también es un parámetro de control. El valor de K, de este modo, depende del número de WTG en línea dentro de la WPP. Alternativamente o en combinación con el mismo, es posible usar la cantidad de potencia disponible de los WTG en línea, P_{ava} , como parámetro de control. La cantidad de potencia disponible de la WPP es la suma de la potencia disponible de los WTG individuales y está dada por:

$$P_{ava} = P_{nominal} - P_{real}$$

10 Además, la señal de velocidad del viento y la producción de potencia activa se pueden usar para establecer la desconexión del dispositivo de compensación de potencia reactiva externo con el fin de evitar pérdidas eléctricas, por ejemplo, si la producción de potencia activa y la velocidad del viento han estado por debajo de algún intervalo durante una cierta cantidad de tiempo, se enviará un comando/señal de desconexión a la unidad de compensación de potencia reactiva. Cuando se restablecen las condiciones de velocidad del viento y nivel de producción, se enviará un comando/señal de conexión a la unidad de compensación de potencia reactiva.

15 Como se muestra en la Fig. 4, la referencia de los WTG, V_{ref_WTG} , es la misma que la calculada por el controlador de WPP, V_{ref} .

La tabla de búsqueda del despachador se puede implementar como se muestra en la tabla 2.

P	K	Unidad en base de WTG
0	0.0	[%]
10	0.1	[%]
20	0.2	[%]
30	0.3	[%]
40	0.4	[%]
50	0.5	[%]
60	0.6	[%]
70	0.7	[%]
80	0.8	[%]
90	0.9	[%]
100	1.0	[%]

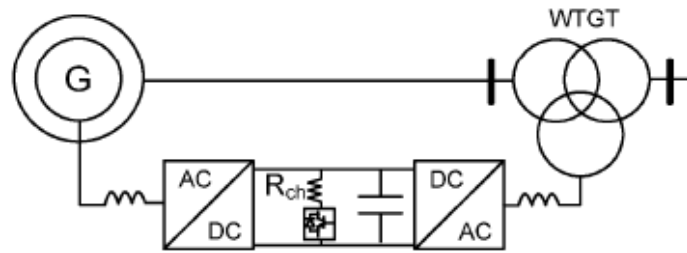
Tabla 2

20 De este modo, siguiendo la estrategia de control sugerida por la presente invención, se puede proporcionar soporte de potencia reactiva a una red de suministro de energía, desde, por ejemplo, un STATCOM, como un valor ponderado de las referencias de WTG.

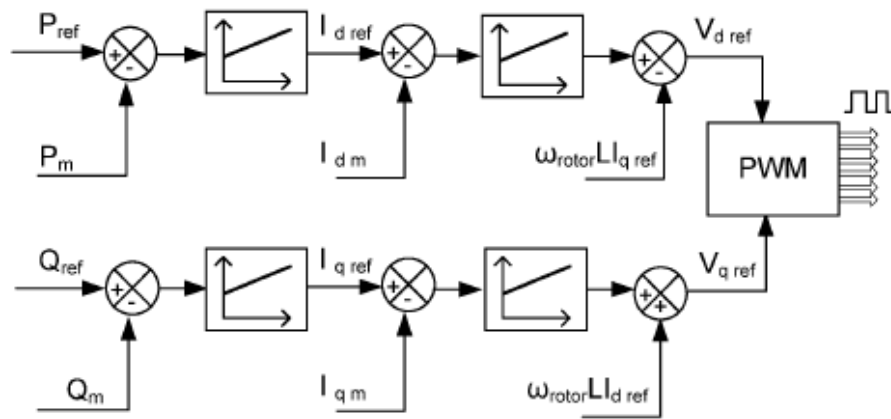
REIVINDICACIONES

1. Un método para controlar una fuente de potencia reactiva en una planta de energía eólica que comprende una pluralidad de aerogeneradores, la fuente de potencia reactiva que es una fuente de energía capacitiva o inductiva o una combinación de las mismas, el método que comprende los pasos de:
- 5 - proporcionar una señal de control de potencia reactiva de aerogenerador para un aerogenerador de la planta de energía eólica,
- proporcionar una señal de referencia de potencia activa, dicha señal de referencia de potencia activa que es una medida de la producción de potencia activa de la planta de energía eólica,
- el método que se caracteriza por comprender el paso de
- 10 - generar una señal de control para la fuente de potencia reactiva combinando la señal de control de potencia reactiva de aerogenerador y la señal de referencia de potencia activa.
2. Un método según la reivindicación 1, donde la señal de control de potencia reactiva de aerogenerador y la señal de referencia de potencia activa se combinan de tal forma que la señal de control para la fuente de potencia reactiva es una señal ponderada de la señal de control de potencia reactiva de aerogenerador.
- 15 3. Un método según la reivindicación 1 o 2, en donde la señal de control de potencia reactiva de aerogenerador comprende una referencia de tensión para el aerogenerador.
4. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la señal de referencia de potencia activa aumenta de manera monótona con la producción de potencia activa de la planta de energía eólica.
- 20 5. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la señal de referencia de potencia activa varía entre cero y la unidad dependiendo de la producción de potencia activa de la planta de energía eólica.
6. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la señal de control para la fuente de potencia reactiva se genera por multiplicación de la señal de control de potencia reactiva de aerogenerador y la señal de referencia de potencia activa.
- 25 7. Un método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la señal de control para la fuente de potencia reactiva se proporciona a una fuente de potencia reactiva capacitiva.
8. Un método según la reivindicación 7, en donde la señal de control para la fuente de potencia reactiva se proporciona a un STATCOM.
9. Un método según cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en donde la señal de control para la fuente de potencia reactiva se proporciona a una fuente de potencia reactiva inductiva.
- 30 10. Una planta de energía eólica que comprende una pluralidad de aerogeneradores y un despachador de control, dicho despachador de control que se adapta, al menos parcialmente, para controlar al menos una fuente de potencia reactiva y al menos un aerogenerador en la planta de energía eólica, la fuente de potencia reactiva que es una fuente de energía capacitiva o inductiva o una combinación de las mismas, el despachador de control que comprende,
- 35 - medios para recibir una señal de control de potencia reactiva de aerogenerador para un aerogenerador de la planta de energía eólica,
- medios para generar una señal de referencia de potencia activa a partir de una medida de la producción de potencia activa de la planta de energía eólica,
- la planta eólica que se caracteriza por el despachador de control que comprende también
- 40 - medios para generar una señal de control para la fuente de potencia reactiva combinando la señal de control de potencia reactiva de aerogenerador y la señal de referencia de potencia activa.
11. Una planta de energía eólica según la reivindicación 10, en donde los medios para generar una señal de referencia de potencia activa comprenden un filtro paso bajo para filtrar paso bajo la medida de la producción de potencia activa de la planta de energía eólica.
- 45 12. Una planta de energía eólica según la reivindicación 10 u 11, en donde los medios para generar la señal de control para la fuente de potencia reactiva comprenden medios para la multiplicación de la señal de control de potencia reactiva de aerogenerador y la señal de referencia de potencia activa.

13. Una planta de energía eólica según cualquiera de las reivindicaciones 10-12, en donde el despachador de control está configurado para pasar a través de la señal de control de potencia reactiva de aerogenerador recibida esencialmente sin modificar dicha señal de control de potencia reactiva de aerogenerador recibida.



a)



b)

Fig. 1

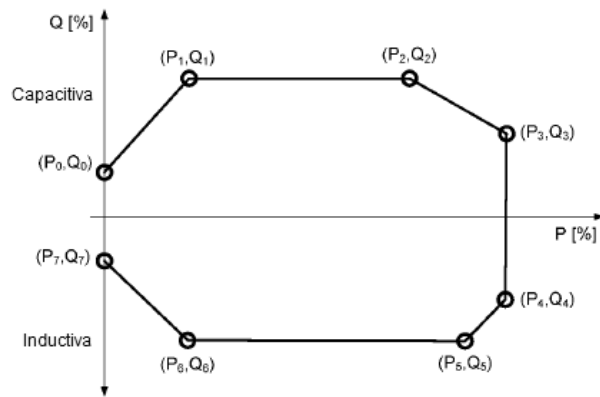


Fig. 2

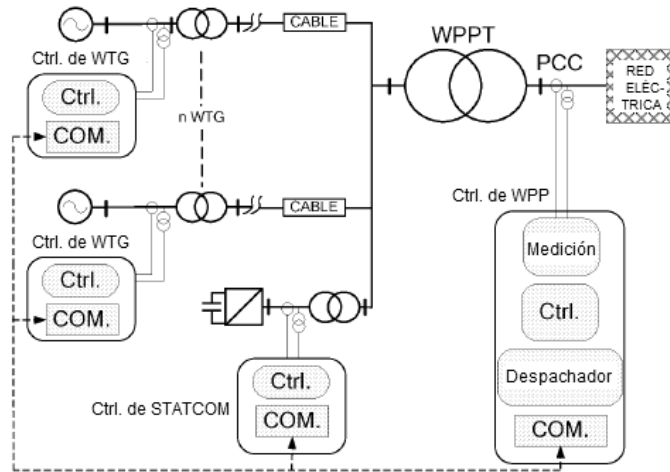


Fig. 3

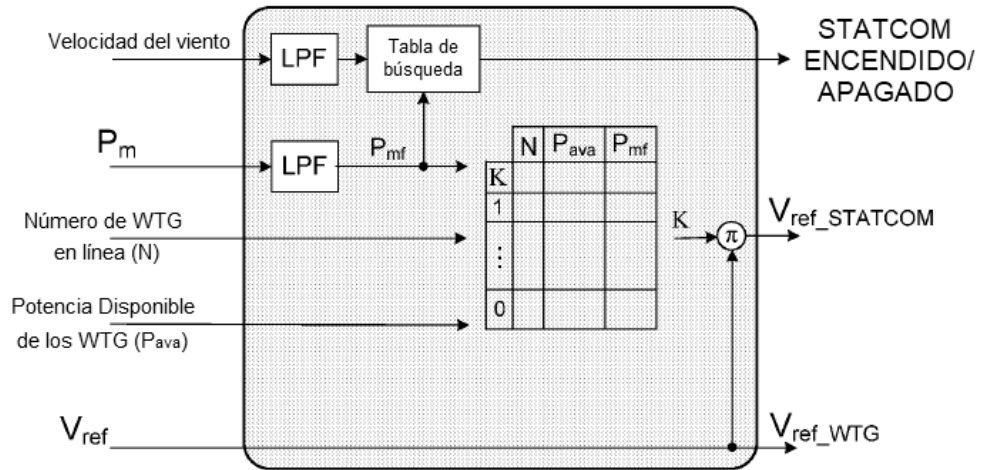


Fig. 4