

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 615 263**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 9/00 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

H02J 3/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.09.2012 PCT/DK2012/050361**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.04.2013 WO2013044923**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.09.2012 E 12778222 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.01.2017 EP 2761172**

54 Título: **Controladores de tensión de ancho de banda múltiple para una planta de generación de energía eólica**

30 Prioridad:

28.09.2011 US 201161539988 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.06.2017

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**SAHUKARI, SRIDHAR;
NAYEBI, KOUROUSH y
MAYER, PETER FREDERICK**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 615 263 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

Controladores de tensión de ancho de banda múltiple para una planta de generación de energía eólica

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere en general a una planta de generación de energía eólica y, en particular, a un método para el control del nivel de tensión de la planta de generación de energía eólica.

10 Antecedentes de la invención

Una turbina eólica es un sistema de conversión de energía que convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica para las redes eléctricas de potencia. Específicamente, el viento incidente sobre las palas del generador de turbina eólica (WTG) provoca que el rotor del WTG gire. La energía mecánica del rotor en rotación se convierte a su vez en energía eléctrica mediante un generador eléctrico.

Se hace referencia frecuentemente a una planta de generación de energía eólica como un grupo de generadores de turbina eólica que se conectan en común a una red eléctrica a través de un punto de conexión común, también conocido como punto de acoplamiento común (PCC). Adicionalmente, la planta de generación de energía eólica puede comprender un controlador de la planta de generación (PPC) y/o alguna clase de equipo de compensación de potencia reactiva, tal como unos STATCOM o condensadores de conmutadores, u otros.

Debido a los avances en los requisitos normativos de la red y a que entra más energía eólica en la red eléctrica, hay una necesidad importante de que el generador de turbina eólica y especialmente la planta de generación de energía eólica sea capaz de proporcionar el soporte requerido por la red cuando sea necesario. La estabilidad de la tensión se ve como un problema principal en muchos sistemas de potencia especialmente en la localización de la planta de generación de energía eólica. Por ello, la planta de generación de energía eólica y sus generadores de turbina eólica deberían ser capaces de proporcionar un soporte avanzado que pueda ser comparable al de las máquinas síncronas tradicionales con respecto al soporte de la tensión.

El documento US2010/0332042 describe un parque eólico que incluye una pluralidad de instalaciones de energía eólica, un punto de transferencia en el que la energía eléctrica producida por las instalaciones de energía eólica se transfiere a un sistema de la red eléctrica pública y para el que están preestablecidos los valores nominales, y un sensor de medición configurado para medir los valores reales eléctricos en el punto de transferencia. El parque eólico incluye también un regulador maestro asociado con un nivel de control superior y configurado para usar los valores nominales superiores y los valores reales superiores en el nivel de control superior para determinar los preestablecidos para un nivel de control inferior, y una pluralidad de reguladores submaestros asociados con el nivel de control inferior y configurados para usar los preestablecidos como un valor nominal inferior y, basándose en el valor nominal inferior y un valor real inferior, determinar los preestablecidos para las instalaciones de energía eólica. Puede conseguirse así un alto nivel de precisión en el control incluso en grandes parques eólicos.

Los documentos EP1512869A1 y WO2009/083448 también describen parques eólicos y controladores para el control de dichos parques eólicos.

45 Sumario de la invención

El presente Sumario se proporciona para introducir una selección de conceptos en una forma simplificada que se describen adicionalmente a continuación en la Descripción detallada. Este sumario no pretende identificar características clave o características esenciales de la materia objeto reivindicada, ni se pretende que se use como una ayuda en la determinación del alcance de la materia objeto reivindicada.

En un aspecto, la presente invención se refiere a una planta de generación de energía eólica, que comprende al menos un generador de turbina eólica,

en el que cada uno del al menos un generador de turbina eólica incluye un bucle de control interior, teniendo el bucle de control interior un primer controlador de tensión con un primer ancho de banda, dispuesto el controlador de tensión para el control de un nivel de tensión, y
 en el que la planta de generación de energía eólica incluye un bucle de control exterior, teniendo el bucle de control exterior un controlador de la planta de generación con un segundo controlador de tensión con un segundo ancho de banda, dispuesto también el segundo controlador de tensión para el control del nivel de tensión,
 en el que el primer ancho de banda es mayor que el segundo ancho de banda,
 en el que la planta de generación de energía eólica comprende adicionalmente un dispositivo de medición para la medición de la tensión en un punto de acoplamiento común, estando dispuesto dicho dispositivo de medición para la comunicación de una señal al controlador de la planta de generación, que puede reiniciar el primer bucle de control, y
 en el que el controlador de la planta de generación está dispuesto para suministrar una interrupción para el al

menos un generador de turbina eólica, dicho al menos un generador de turbina eólica se dispone para actuar tras la interrupción.

Una ventaja del primer aspecto de la presente invención ayuda a las plantas de generación de energía eólica a cumplir con los requisitos normativos de la red que son exigentes con respecto al control de la tensión y la potencia/corriente reactiva. También permite la conexión de turbinas a redes débiles sin provocar muchos problemas de inestabilidad de tensión. Otra ventaja del primer aspecto es que la presente invención proporciona un sistema para detectar cambios en el nivel de tensión en un punto de acoplamiento común. Además, la presente invención se dispone para actuar tras la interrupción en lugar de esperar a una siguiente muestra del controlador de la planta de generación, lo que disminuye el tiempo de respuesta para el bucle de control.

A lo largo de la presente descripción, la expresión "ancho de banda de un controlador" se ha de entender como a qué frecuencia más alta el controlador aún proporciona una respuesta, similar a la interpretación analógica clásica: la frecuencia del ancho de banda se define como la frecuencia en la que la respuesta a la magnitud en bucle cerrado es igual a -3 dB. De ese modo el controlador con un elevado ancho de banda proporcionará una respuesta rápida a cambios y un controlador con un reducido ancho de banda proporcionará una respuesta lenta. En el control digital, la expresión "ancho de banda de un controlador" puede entenderse como una medida de los recursos de comunicación de datos disponibles o consumidos expresados en bits/segundo o múltiplos de estos. Por ello, el "ancho de banda de un controlador" puede verse como sinónimo de "tasa de bits de un controlador", "capacidad del canal de un controlador" o "rendimiento de un controlador". Un controlador con un elevado ancho de banda tendrá una alta tasa de bits y por ello proporcionará una respuesta rápida a cambios, mientras que un controlador con un ancho de banda más reducido tendrá una tasa de bits más baja y por ello proporcionará una respuesta más lenta. Pueden usarse ambas interpretaciones.

De acuerdo con una realización de la invención, la relación entre el primer ancho de banda y el segundo ancho de banda está entre 5 y 20.

Una ventaja de esta realización de la presente invención es que esta relación proporciona un control de tensión estable y robusto para plantas de generación de energía eólica conectadas a una red eléctrica con una elevada relación de cortocircuito.

De acuerdo con una realización de la invención, la relación entre el primer ancho de banda y el segundo ancho de banda está entre 10 y 20.

Una ventaja de esta realización de la presente invención es que esta relación proporciona un control de tensión estable y robusto para plantas de generación de energía eólica conectadas a una red eléctrica con una baja relación de cortocircuito.

De acuerdo con una realización de la invención, la relación entre el primer ancho de banda y el segundo ancho de banda depende de una relación de cortocircuito en un punto de conexión común de la planta de generación de energía eólica.

Una ventaja de esta realización de la presente invención es que la disposición de la relación de acuerdo con la relación de cortocircuito proporcionará un control de tensión estable y robusto para plantas de generación de energía eólica conectadas a casi cualquier red eléctrica.

De acuerdo con una realización de la invención, las ganancias y la relación de las ganancias tanto para controladores lentos como rápidos puede cambiarse basándose en la SCR y la relación de X/R de la red.

Una ventaja de esta realización de la presente invención es que estas ganancias variables pueden controlar la velocidad de entrega de la potencia/corriente reactiva a la red, lo que proporciona un control de tensión estable y robusto para plantas de generación de energía eólica conectadas a una red eléctrica.

De acuerdo con una realización de la invención, el primer y/o el segundo ancho de banda pueden variarse basándose en una impedancia de un punto de conexión a la red de la planta de generación de energía eólica.

De acuerdo con una realización de la invención, esta comprende adicionalmente una unidad de compensación de potencia reactiva con un tercer controlador de tensión con un tercer ancho de banda, en el que el tercer ancho de banda es mayor que el primer y el segundo ancho de banda.

Una ventaja de esta realización de la presente invención es que al tener una unidad de compensación de la potencia reactiva, con la capacidad de un control rápido del suministro de potencia reactiva, tal como unos STATCOM, con un tercer controlador de tensión proporciona un control de tensión más estable y robusto para plantas de generación de energía eólica conectadas a una red eléctrica.

De acuerdo con una realización de la invención, esta comprende adicionalmente una unidad de compensación de la

potencia reactiva con un tercer controlador de tensión con un tercer ancho de banda, en el que el tercer ancho de banda es más pequeño que el primer y el segundo ancho de banda.

Una ventaja de esta realización de la presente invención es que al tener una unidad de compensación de la potencia reactiva, sin la capacidad de un control rápido del suministro de potencia reactiva, tal como un MSC (condensador mecánicamente conmutado) o SVC, con un tercer controlador de tensión proporciona un control de tensión más estable y robusto para plantas de generación de energía eólica conectadas a una red eléctrica.

En un segundo aspecto, la presente invención se refiere a un método para el control de un nivel de tensión en una planta de generación de energía eólica, con al menos un generador de turbina eólica que tiene un bucle de control interior, y un bucle de control exterior que tiene un controlador de la planta de generación, comprendiendo el método las etapas de:

- controlar el nivel de tensión mediante un primer controlador de tensión dispuesto dentro del bucle de control interior, teniendo dicho primer controlador de tensión un primer ancho de banda,
- controlar el nivel de tensión mediante dicho controlador de la planta de generación con un segundo controlador de tensión dentro del bucle de control exterior, teniendo el segundo controlador de tensión un segundo ancho de banda

en el que el primer ancho de banda es mayor que el segundo ancho de banda,

- comunicar una señal desde un dispositivo de medición, para la medición de un nivel de tensión del punto de acoplamiento común, al controlador de la planta de generación, que puede reiniciar el bucle de control interior, y
- suministrar una interrupción para el al menos un generador de turbina eólica desde el controlador de la planta de generación, y el al menos un generador de turbina eólica está actuando tras la interrupción.

Las ventajas del segundo aspecto y sus realizaciones son equivalentes a las ventajas del primer aspecto de la presente invención.

De acuerdo con una realización del segundo aspecto de la invención, la planta de generación de energía eólica comprende adicionalmente una unidad de compensación de la potencia reactiva con un tercer controlador de tensión, el método comprende una etapa adicional de:

- controlar el nivel de tensión mediante el tercer controlador de tensión con un tercer ancho de banda, en el que el tercer ancho de banda es mayor que el primer y el segundo ancho de banda.

De acuerdo con una realización del segundo aspecto de la invención, el método para el control de un nivel de tensión en una planta de generación de energía eólica comprende unas ganancias y una relación de ganancias para el primer y el segundo controlador que pueden variarse basándose en una relación de cortocircuito y una relación X/R de un punto de conexión común de la planta de generación de energía eólica.

Muchas de las características evidentes serán más claramente apreciadas cuando las mismas lleguen a comprenderse mejor con referencia a la descripción detallada a continuación considerada en conexión con los dibujos adjuntos. Las características preferidas pueden combinarse según sea apropiado, como será evidente para un experto en la materia, y pueden combinarse con cualquiera de los aspectos de la invención.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 muestra una estructura general de una turbina eólica.

La figura 2 muestra una planta de generación de energía eólica de acuerdo con la presente invención.

La figura 3 muestra las fuentes de impedancia de una planta de generación de energía eólica.

La figura 4 muestra los controladores de tensión en una planta de generación de energía eólica con un STATCOM.

La figura 5 muestra una planta de generación de energía eólica con un dispositivo de medición en el punto de acoplamiento común que acciona un marcador.

La figura 6 muestra un diagrama de flujo del método de la presente invención.

Descripción detallada de la invención

La presente invención se explicará ahora con detalles adicionales. Aunque la invención es susceptible de diversas modificaciones y formas alternativas, se han divulgado realizaciones específicas por medio de ejemplos. Debería entenderse, sin embargo, que no se pretende que la invención esté limitada a las formas particulares divulgadas. Por el contrario, la invención ha de cubrir todas las modificaciones, equivalentes y alternativas que caigan dentro del alcance de la invención tal como se define por las reivindicaciones adjuntas.

Debido a los avances en los requisitos normativos de la red y a que entra más energía eólica en la red eléctrica, hay

una necesidad importante de que un generador de turbina eólica y especialmente una planta de generación de energía eólica sean capaces de proporcionar el soporte requerido por la red siempre que sea necesario. Se ve que la estabilidad de tensión es el problema principal en muchos sistemas de generación especialmente en la localización de la planta de generación de energía eólica. Por ello, el WTG debería ser capaz de proporcionar un soporte avanzado que pueda ser comparable al de máquinas síncronas tradicionales con respecto al soporte de tensión.

La presente invención proporciona un método y una configuración con controladores de tensión de ancho de banda múltiple, un primero con un elevado ancho de banda, implementado en un controlador de tensión del generador de turbina eólica y un segundo con un reducido ancho de banda, implementado en un controlador de tensión del controlador de la planta de generación.

La respuesta de una máquina síncrona durante una caída de tensión será, debido a sus propiedades inherentes, una inyección de potencia reactiva debido a la desmagnetización inmediata del estátor. El elevado ancho de banda o respuesta rápida del controlador de un controlador de tensión de la turbina eólica de la presente invención puede verse como un paralelo a este de la máquina síncrona. La respuesta más lenta del controlador de excitación es el paralelo al controlador de ancho de banda bajo o controlador más lento de tensión de la planta de generación.

El ancho de banda del controlador se ha de entender aquí como a qué frecuencia más alta el controlador aún proporcionar una respuesta, similar a la interpretación analógica clásica: la frecuencia del ancho de banda se define como la frecuencia en la que la respuesta a la magnitud en bucle cerrado es igual a -3 dB, de modo que un controlador con un ancho de banda elevado proporcionará una respuesta rápida a cambios y un controlador con un ancho de banda reducido proporcionará una respuesta lenta. En el control digital, la expresión "ancho de banda de un controlador" puede entenderse como una medida de los recursos de comunicación de datos disponibles o consumidos expresados en bits/segundo o múltiplos de estos. Por ello, el "ancho de banda de un controlador" puede verse como sinónimo de "tasa de bits de un controlador", "capacidad de canal de un controlador" o "rendimiento de un controlador". Un controlador con un ancho de banda elevado tendrá una alta tasa de bits y por ello proporcionará una respuesta rápida a cambios, mientras que un controlador con un ancho de banda reducido tendrá una tasa de bits más baja y proporcionará así una respuesta más lenta. Pueden usarse ambas interpretaciones.

La potencia eléctrica, tal como es conocido para un experto en la materia, puede dividirse en un componente de potencia activa y un componente de potencia reactiva. Para el control de tensión es frecuentemente un cambio en la potencia reactiva lo que proporciona el mayor cambio en la tensión, mientras que los cambios en la frecuencia se vinculan frecuentemente con cambios en la potencia activa.

La Fig. 1 muestra una configuración general de un generador de turbina eólica 1. El generador de turbina eólica 1 incluye una torre 2 que tiene un número de secciones de torre, una góndola 3 situada en la parte superior de la torre 2, y un rotor 4 que se extiende desde la góndola 3. La torre 2 se erige sobre una cimentación 7 construida en el terreno. El rotor 4 es giratorio con respecto a la góndola 3, e incluye un buje 5 y una o más palas 6. El viento incidente sobre las palas 6 provoca que el rotor 4 gire con respecto a la góndola 3. La energía mecánica de la rotación del rotor 4 se convierte en energía eléctrica mediante un generador (no mostrado) en la góndola 3. La energía eléctrica se convierte posteriormente en una potencia eléctrica de frecuencia fija, mediante un convertidor de potencia, a ser suministrada a la red eléctrica. El generador de turbina eólica puede formar parte también de un parque eólico o una planta de generación de energía eólica que comprende una pluralidad de turbinas eólicas. Toda la potencia eléctrica generada por los generadores de turbina eólica individuales en el parque eólico se consolida y suministra a la red eléctrica a través de un punto de acoplamiento común PCC (no mostrado en la figura 1).

Aunque la turbina eólica 1 mostrada en la Figura 1 tiene tres palas 6, debería tomarse nota de que una turbina eólica puede tener un diferente número de palas. Es común encontrar turbinas eólicas que tengan dos a cuatro palas. El generador de turbina eólica 1 mostrado en la Figura 1 es una turbina eólica de eje horizontal (HAWT) en la que el rotor 4 gira alrededor de un eje horizontal. Debería tomarse nota de que el rotor 4 puede girar alrededor de un eje vertical. Dichos generadores de turbina eólica que tiene sus rotores giratorios alrededor de un eje vertical son conocidos como turbinas eólicas de eje vertical (VAWT). Las realizaciones descritas de aquí en adelante no están limitadas a HAWT que tengan 3 palas. Pueden implementarse tanto en HAWT como en VAWT y que tengan cualquier número de palas 6 en el rotor 4.

La idea de la presente invención es operar la WPP bajo el modo de control de tensión que tiene al menos dos anchos de banda. El controlador de tensión presente en el generador de turbina eólica actuará como un controlador de ancho de banda más elevado (actuación rápida) y responderá por su parte tan pronto como se vea una perturbación de tensión, uno de los objetivos para el controlador de tensión de la presente invención es alcanzar una tensión previa a una falta en los terminales del WTG. Esta acción se llevará a cabo por todos los generadores de turbina eólica disponibles en la planta de generación de energía eólica y puede considerarse que está en el nivel de turbina.

Sin embargo, tan pronto como el controlador de la planta de generación identifique la perturbación se generará un nuevo conjunto de señales de control. El nuevo conjunto de señales de control puede basarse en diversos otros

parámetros tales como la disponibilidad de los WTG, juego disponible en el STATCOM 230 (véase la figura 4) o MSC (no mostrado), requisitos desde la normativa de la red y condiciones del sistema (relación de cortocircuito y relación X/R) en ese instante.

El nuevo conjunto de señales de control o señales de referencia se pasarán al WTG con un retardo de comunicación entre el PPC y el WTG y habrá también un retardo entre el controlador principal del WTG y un controlador del convertidor dentro del convertidor electrónico de potencia del generador de turbina eólica si uno de ese tipo está presente. Aparte de esto, podría haber también un retardo de tiempo intencionado en el bucle para el controlador de la planta de generación excepto en el caso de comunicación basada en interrupciones. Esta puede considerarse que funciona con un ancho de banda más bajo y será superada por la orden que es seguida por el WTG basándose en las lógicas de ancho de banda elevado.

Es importante no tener el mismo ancho de banda en ambos controladores de tensión, dado que dos controladores con el mismo ancho de banda pueden conducir a oscilación en la tensión y para asegurarse de que el bucle interior sigue al bucle exterior.

El controlador del WTG trata de controlar el nivel de tensión en la conexión del generador de turbina eólica si no se da ninguna orden desde el PPC. Si se da la orden desde el PPC y si los WTG siguen la orden, los WTG controlarán la tensión en el PCC, pero siendo supervisados por el PPC.

El PPC controla la tensión en el punto PCC. También, el PPC tiene frecuentemente otros modos de control como control de potencia reactiva o un modo de control del factor de potencia (PF), en donde el objetivo es la potencia reactiva (Q) o el PF y ya no la tensión.

En una realización de la presente invención hay más de dos niveles de ancho de banda de los bucles de control, concretamente cuando hay un equipo de control de tensión adicional instalado dentro de la WPP. Como un ejemplo, una planta de generación de energía eólica puede tener una pluralidad de generadores de turbina eólica 201, y un STATCOM (véase la figura 4) para proporcionar una compensación de potencia reactiva rápida, y algunos condensadores (MSC) o reactores (MSR) conmutados mecánicamente para proporcionar una compensación de potencia reactiva más lenta y un controlador de la planta de generación (PPC) 210 funcionando con anchos de banda diferentes.

Una ventaja de la presente invención de un controlador de ancho de banda múltiple es una mejora de la estabilidad de la red así como la posibilidad de realizar la mejor utilización de la capacidad de potencia reactiva disponible y control a nivel del sistema disponible en el controlador de la planta de generación.

La estrategia de control durante la recuperación de la tensión después de un evento en la red es también importante para evitar cualquier problema imprevisto en la red. Esto puede manejarse por la comunicación basada en interrupciones desde el controlador de la planta de generación a al menos una turbina eólica que responde a la interrupción. Esto puede reiniciar el bucle de control de tensión rápido.

En una realización preferida se usa Q_{ref} como el parámetro de despacho en lugar de la señal de referencia de tensión real, dado que se cree que el uso de Q_{ref} es más rápido en tiempo de respuesta.

En una realización, el Q_{ref} de despacho puede ser diferente de turbina a turbina. El Q_{ref} para cada turbina puede calcularse basándose en impedancias medidas para cada turbina, o basándose en una realimentación, o basándose alternativamente en un algoritmo de aprendizaje cuando el controlador de la planta de generación aprende sobre el nivel de impedancia de cada turbina basándose en una respuesta a pequeña señal o en captura de datos durante el funcionamiento normal.

En una realización, la V_{ref} de despacho puede ser diferente de turbina a turbina. La V_{ref} para cada turbina puede calcularse basándose en impedancias medidas para cada turbina, o basándose en una realimentación, o basándose alternativamente en un algoritmo de aprendizaje cuando el controlador de la planta de generación aprende el nivel de impedancia de cada turbina basándose en una respuesta a pequeña señal o captura de datos durante el funcionamiento normal. Diferentes V_{ref} a cada generador de turbina eólica deberían tener en consideración el hecho de que el nivel de tensión a lo largo de una línea/cable de potencia cae debido a la impedancia de la línea/cable.

En una realización, la relación de anchos de banda puede variar entre 5 y 10.

En una realización, la relación de anchos de banda puede variar entre 10 y 20.

En otra realización, la relación de anchos de banda puede variar entre 5 y 20.

En otra realización, la relación de anchos de banda puede variar dependiendo del punto de conexión de la WPP a la red. Los anchos de banda de la turbina y del PPC en condiciones normales o de falla pueden ajustarse también basándose en la SCR y relación X/R de la red.

En otra realización de la invención, las ganancias y la relación de las ganancias para tanto el WTG como los controladores del PPC puede cambiarse basándose en la SCR y la relación X/R de la red (parcialmente tomada de la patente de Vestas WO2009083448, relación que no se considera en la patente WO2009083448).

La Figura 2 muestra una planta de generación de energía eólica 200, con dos generadores de turbina eólica 201a, 201b, el número de dos es solamente por simplicidad, podría ser cualquier número más alto de dos. El generador de turbina eólica 201a tiene una señal de salida 204a, en este ejemplo esta es la tensión; esta señal se mide 205a mediante un sensor de tensión (no mostrado) y se suministra a un controlador de tensión 202a del generador de turbina eólica. El controlador 202a genera un punto de consigna 206a de tensión, que se compara con una referencia de tensión U_{ref} 203a en un bloque de suma 207a. El error del controlador 208a se usa como parámetro del controlador en los generadores de turbina eólica 201a. El controlador de la planta de generación 210 obtiene mediciones 214 de la tensión en el punto de acoplamiento común (PCC) 220, obtenidas mediante otro sensor de tensión (no mostrado). La medición 214 se compara con una referencia de tensión 212 en el bloque de suma 211, esta referencia 212 puede haberse generado dentro del controlador de la planta de generación (PPC) 210 o puede haberse suministrado externamente. La salida del bloque de suma 211 se proporciona al interior de un controlador de tensión 213 del PPC, que despacha referencias de tensión 203 individuales a los generadores de turbina eólica 201 individuales.

Aunque la Figura 2 muestra que el generador de turbina eólica recibe una U_{ref} 203, algunas realizaciones pueden no tener la señal U_{ref} 203, es decir si no hay señal desde el PPC 210 al controlador de turbina 202, 207, el controlador de tensión en el nivel de la turbina 202 controla el nivel de tensión en sus propios terminales eléctricos 204.

Como se ha mencionado, la referencia de tensión 203 puede ser en su lugar una referencia de potencia reactiva, lo que no se muestra en ninguna figura. Incluso si la señal de referencia es una referencia de potencia reactiva, la señal de salida a ser medida puede ser una señal tensión, en otras realizaciones puede ser una señal de potencia reactiva.

La Fig. 3 muestra una disposición esquemática de la planta de generación de energía eólica 300 de acuerdo con una realización. La disposición esquemática de la Fig. 3 ilustra las impedancias que se introducen dentro de la planta de generación de energía eólica 300. Por razones de claridad, solo se ilustra un generador de turbina eólica 301 en la Fig. 3. Debería tomarse nota de que la planta de generación de energía eólica 300 puede incluir más de un generador de turbina eólica 301. Se supone también que se genera por parte del generador de turbina eólica 301 tanto corriente reactiva como activa. El generador de turbina eólica 301 se conecta a un transformador de turbina eólica 302. El transformador de turbina eólica 302 se conecta a su vez al transformador de la planta de generación de energía eólica 304 a través de cables de potencia 305. La impedancia de los cables de potencia 305 se representa por la impedancia de cable 303. La planta de generación de energía eólica 300 se conecta a un sistema o red de compañía 311 usando líneas aéreas (OVL) 310. La impedancia de las OVL 310 se representa por la impedancia de OVL 306. La planta de generación de energía eólica 300 se relaciona con la red 311 a través del PCC 312. La red 311 suministra potencia a una carga, por ejemplo una unidad doméstica 320. Las plantas de generación adicionales, por ejemplo una planta de generación de carbón 321 convencional, pueden suministrar también potencia a la red 311. De acuerdo con una realización, la impedancia del cable 303 y la impedancia de la OVL 306 se tienen en cuenta cuando se determinan las corrientes activa y reactiva a ser generadas, de modo que proporcionen la corriente reactiva óptima en el PCC 312. La WPP puede comprender también otros, tales como un transformador, cables de alta tensión, línea aérea o conexión HVDC antes de la conexión al punto de acoplamiento común.

Las plantas de generación de energía eólica tienen frecuentemente equipo de compensación de potencia reactiva tales como unos STATCOM 230, condensadores conmutados mecánicamente, SVC, etc. El STATCOM 230 tendría también un controlador de tensión; el ancho de banda de ese controlador de tensión puede ser más elevado que los anchos de banda de tanto el controlador de tensión del generador de turbina eólica como del controlador de tensión del PPC.

La Figura 4 muestra una planta de generación de energía eólica con un STATCOM 230 para proporcionar un soporte de potencia reactiva adicional. El WTG 209 tiene un bucle de control de realimentación 240 como se describe en la Fig. 2. El STATCOM 230 tiene también un bucle de realimentación 245. Los bucles de realimentación 240 y 245 tienen elevados anchos de banda, en donde el ancho de banda 245 es más alto que el ancho de banda 240. El controlador de la planta de generación 210 proporciona el bucle de realimentación exterior 250, con el ancho de banda más bajo.

En una realización, el STATCOM 230 responde por su parte y el PPC 210, incluso con un ancho de banda más bajo, solamente permite que el STATCOM 230 realice el control basándose en la capacidad de los STATCOM en lugar de que el PPC 210 controle el nivel de tensión del STATCOM. El PPC 210 aún controla las turbinas respecto a un objetivo de potencia reactiva $Q_{turbina} = (Q_{total\ requerida} - Q_{suministrada\ por\ STATCOM})$.

En una realización de la invención (véase la figura 5) hay un dispositivo de medición 511 para medir la tensión en el

punto PCC que puede accionar un marcador, enviarlo al PPC que puede reiniciar inmediatamente el bucle de control de ancho de banda más alto.

5 En una realización de la presente invención el marcador anteriormente mencionado y el evento activado en el PPC pueden suministrarse a los WTG como una señal de interrupción 520 que puede forzar a los WTG a actuar tras las órdenes de interrupción en lugar de esperar a la siguiente muestra desde el PPC.

10 La Figura 5 muestra una planta de generación de energía eólica 500, similar a la de la Figura 2, mostrando solamente sin embargo un generador de turbina eólica 209. En el punto de acoplamiento común, el dispositivo de medición de tensión 500 tiene un sistema 510 para activar un marcador, que puede suministrarse 515 al PPC 210. El PPC puede enviar una señal de interrupción 520 al controlador de turbina eólica 202, que reinicia inmediatamente el bucle de control.

15 La Figura 6 muestra un diagrama de flujo de un método para el Método para el control del nivel de tensión en una planta de generación de energía eólica, con al menos un generador de turbina eólica, y un controlador de planta de generación, en una realización. La etapa 601 incluye el funcionamiento normal en donde no se requieren cambios.

20 La etapa 602 incluye el primer bucle de control con el controlador de tensión de ancho de banda elevado; este bucle de control está en el nivel del generador de turbina eólica. La etapa 603 incluye el bucle de control del controlador de la planta de generación, con el controlador de tensión de ancho de banda reducido.

25 La presente invención maneja y combina dos bucles de control relacionados en una forma óptima y hace el mejor uso de la capacidad de Q disponible de los WTG así como de cualquier otro dispositivo de Compensación de Potencia reactiva disponible en la WPP. Esto lleva a los WTG y PPC a un siguiente nivel de control coordinado.

La presente invención ayuda a las plantas de generación de energía eólica a cumplir con los requisitos normativos de la red que son exigentes con respecto al control de la tensión y potencia/corriente reactiva. También permite la conexión de turbinas a redes débiles sin provocar muchos problemas de inestabilidad de tensión.

30 En sumario, la invención se refiere a una planta de generación de energía eólica, con al menos un generador de turbina eólica, en donde cada uno del al menos un generador de turbina eólica tiene un primer controlador de tensión con un primer ancho de banda, dispuesto para el control de un nivel de tensión, y en donde la planta de generación de energía eólica tiene un controlador de planta de generación con un segundo controlador de tensión con un segundo ancho de banda dispuesto también para el control del nivel de tensión, el primer ancho de banda es mayor que el segundo ancho de banda. La invención se refiere también a un método para el control del nivel de tensión de una planta de generación de energía eólica, mediante el uso de controladores de tensión de ancho de banda múltiple.

40 Cualquier intervalo o valor de dispositivo dado en el presente documento puede extenderse o alterarse sin pérdida del efecto buscado, como será evidente para los expertos en la materia.

Se entenderá que los beneficios y ventajas descritas anteriormente pueden referirse a una realización o pueden referirse a varias realizaciones. Se entenderá adicionalmente que la referencia a "un" artículo se refiere a uno o más de dichos artículos.

45 Se entenderá que la descripción anterior de una realización preferida se da a modo de ejemplo solamente y que pueden realizarse varias modificaciones por los expertos en la materia. La especificación, ejemplos y datos anteriores proporcionan una descripción completa de la estructura y uso de realizaciones de ejemplo de la invención. Aunque se han descrito anteriormente varias realizaciones de la invención con un cierto grado de particularidad, o con referencia a una o más realizaciones individuales, los expertos en la materia podrían realizar numerosas alteraciones a las realizaciones divulgadas sin apartarse del alcance de la presente invención, tal como se define por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Planta de generación de energía eólica (200; 500) que comprende al menos un generador de turbina eólica (209),

en el que cada uno del al menos un generador de turbina eólica incluye un bucle de control interior, teniendo el bucle de control interior un primer controlador de tensión (202) con un primer ancho de banda, dispuesto el primer controlador de tensión (202) para el control de un nivel de tensión, y

en el que la planta de generación de energía eólica incluye un bucle de control exterior, teniendo el bucle de control exterior un controlador de la planta de generación (210) con un segundo controlador de tensión (213) con un segundo ancho de banda, dispuesto también el segundo controlador de tensión (213) para el control del nivel de tensión,

en el que el primer ancho de banda es mayor que el segundo ancho de banda,

en el que la planta de generación de energía eólica (200; 500) comprende adicionalmente un dispositivo de medición para la medición de la tensión en un punto de acoplamiento común (220), estando dispuesto dicho dispositivo de medición para la comunicación de una señal al controlador de la planta de generación (210), que puede reiniciar el bucle de control interior, y en el que el controlador de la planta de generación (210) está dispuesto para suministrar una interrupción para el al menos un generador de turbina eólica (209), dicho al menos un generador de turbina eólica (209) se dispone para actuar tras la interrupción.

2. Planta de generación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el nivel de tensión es el de un punto de acoplamiento común (220).

3. Planta de generación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la relación entre el primer ancho de banda y el segundo ancho de banda está entre 5 y 10.

4. Planta de generación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la relación entre el primer ancho de banda y el segundo ancho de banda está entre 10 y 20.

5. Planta de generación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la relación entre el primer ancho de banda y el segundo ancho de banda depende de una relación de cortocircuito en un punto de conexión común (220) de la planta de generación de energía eólica (200; 500).

6. Planta de generación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el primer y/o el segundo ancho de banda pueden variarse basándose en una impedancia de un punto de conexión a la red de la planta de generación de energía eólica (200; 500).

7. Planta de generación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en la que la relación del primer y segundo controlador (202, 213) depende de una relación de cortocircuito y una relación X/R del punto de conexión común (220) de la planta de generación de energía eólica.

8. Planta de generación de energía eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones previas, que comprende adicionalmente una unidad de compensación de la potencia reactiva (230) con un tercer controlador de tensión con un tercer ancho de banda, en el que el tercer ancho de banda es mayor/menor que el primer y el segundo ancho de banda.

9. Método para el control de un nivel de tensión en una planta de generación de energía eólica (200; 500), con al menos un generador de turbina eólica (209) que tiene un bucle de control interior, y un bucle de control exterior que tiene un controlador de la planta de generación (210), comprendiendo el método las etapas de:

- controlar el nivel de tensión mediante un primer controlador de tensión (202) dispuesto dentro del bucle de control interior, teniendo dicho primer controlador de tensión (202) un primer ancho de banda,
- controlar el nivel de tensión mediante dicho controlador de la planta de generación (210) con un segundo controlador de tensión (213) dentro del bucle de control exterior, teniendo el segundo controlador de tensión (213) un segundo ancho de banda

en el que el primer ancho de banda es mayor que el segundo ancho de banda,

- comunicar una señal desde un dispositivo de medición, para la medición de un nivel de tensión del punto de acoplamiento común, al controlador de la planta de generación (210), que puede reiniciar el bucle de control interior, y

- suministrar una interrupción para el al menos un generador de turbina eólica (209) desde el controlador de la planta de generación (210), y el al menos un generador de turbina eólica (209) está actuando tras la interrupción.

10. Método para el control de un nivel de tensión en una planta de generación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 9, en el que la relación entre el primer ancho de banda y el segundo ancho de banda está entre 5 y 20.

- 5 11. Método para el control de un nivel de tensión en una planta de generación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 9, en el que la relación entre el primer ancho de banda y el segundo ancho de banda depende de una relación de cortocircuito en un punto de conexión común (220) de la planta de generación de energía eólica (200; 500).
- 10 12. Método para el control de un nivel de tensión en una planta de generación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 9, en el que el primer y/o segundo ancho de banda pueden variarse basándose en una impedancia de un punto de conexión a la red (220) de la planta de generación de energía eólica (200; 500).
- 15 13. Método para el control de un nivel de tensión en una planta de generación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 9, en el que unas ganancias y una relación de ganancias para el primer y segundo controladores pueden variarse basándose en una relación de cortocircuito y una relación X/R de un punto de conexión común (220) de la planta de generación de energía eólica (200; 500).
- 20 14. Método para el control del nivel de tensión en una planta de generación de energía eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones previas 9-13, comprendiendo el método una etapa adicional de:
- controlar el nivel de tensión mediante un tercer controlador de tensión en una unidad de compensación de potencia reactiva (230), en el que el tercer controlador de tensión tiene un tercer ancho de banda, en el que el tercer ancho de banda es mayor que el primer y el segundo ancho de banda.

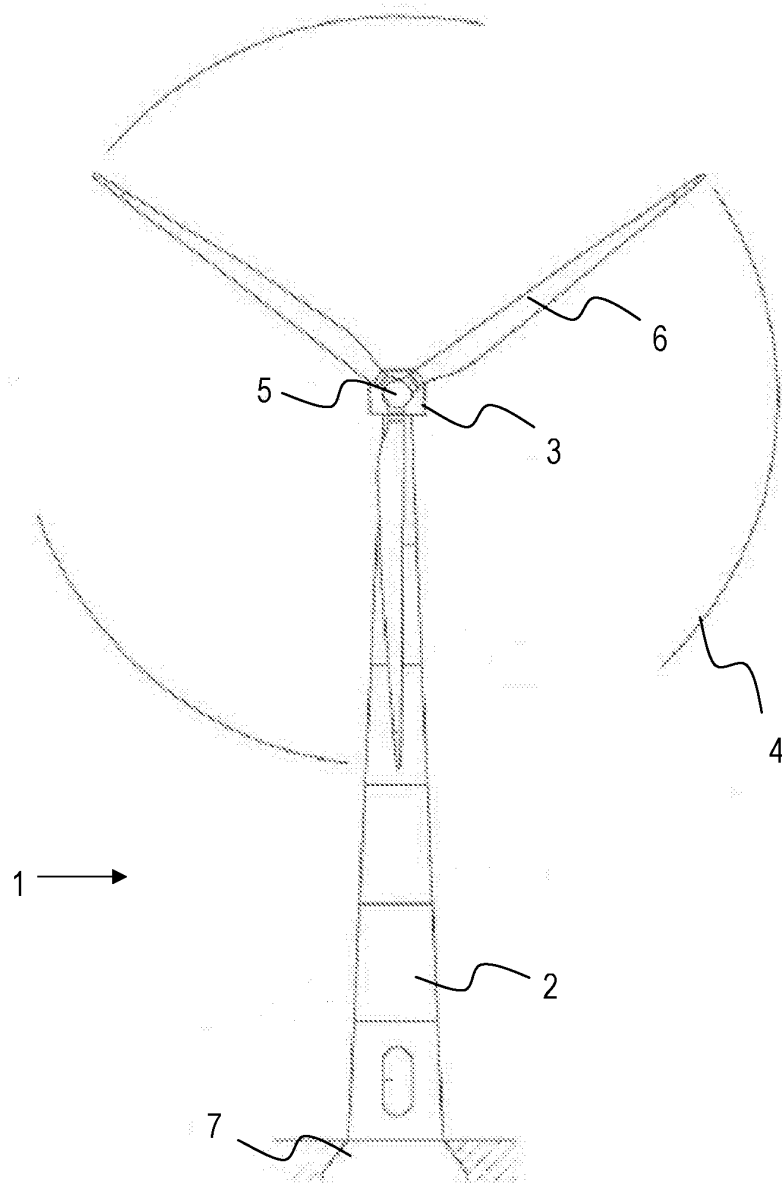


Fig. 1

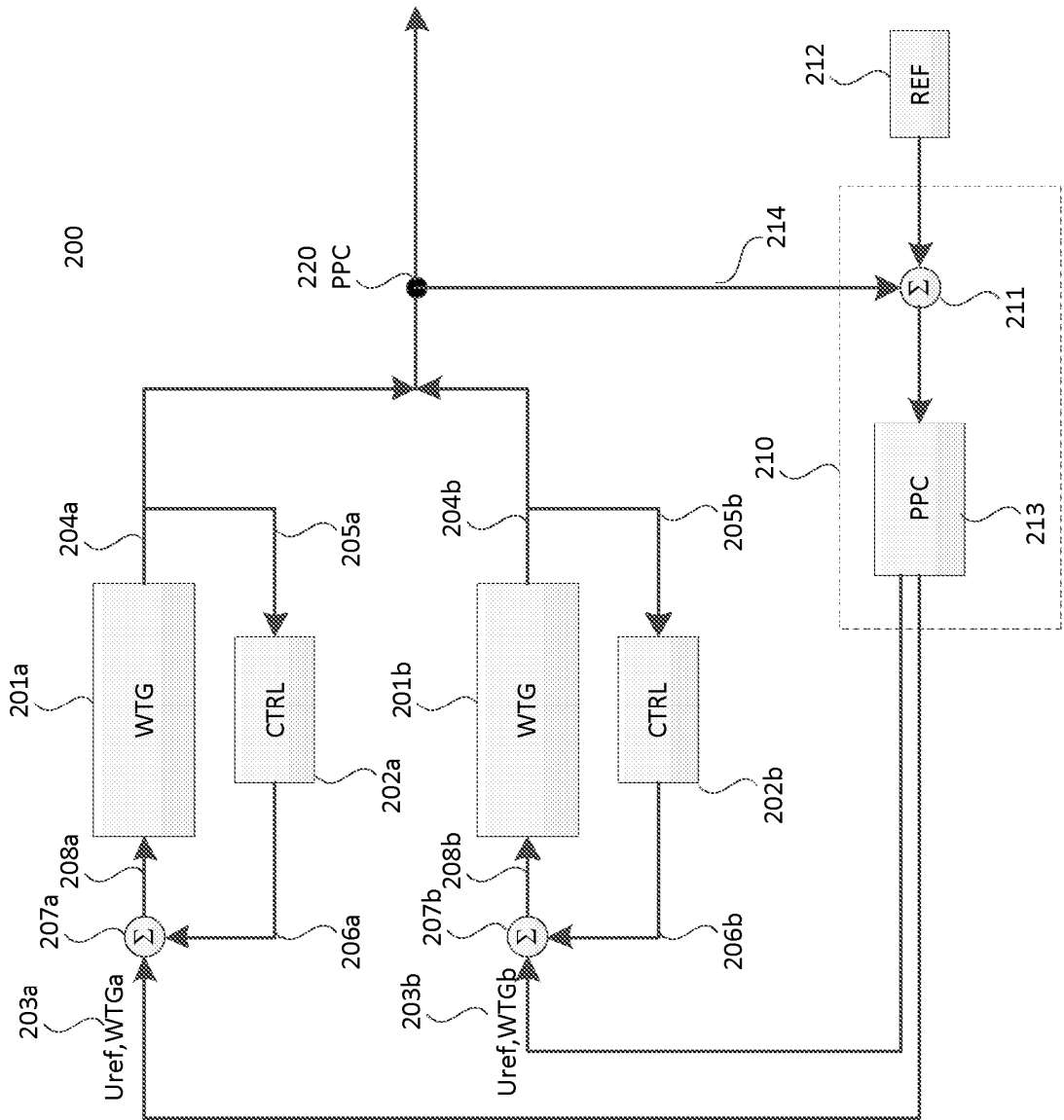


Fig. 2

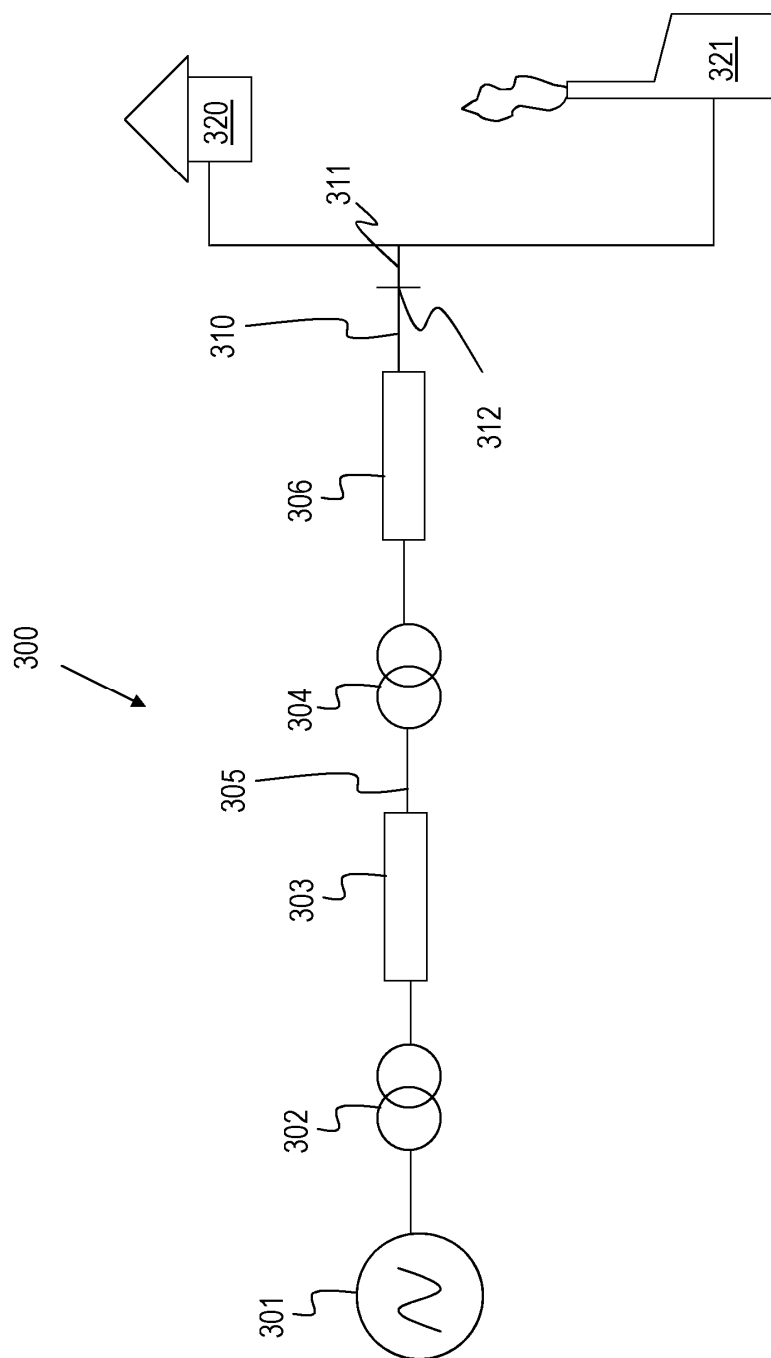


Fig. 3

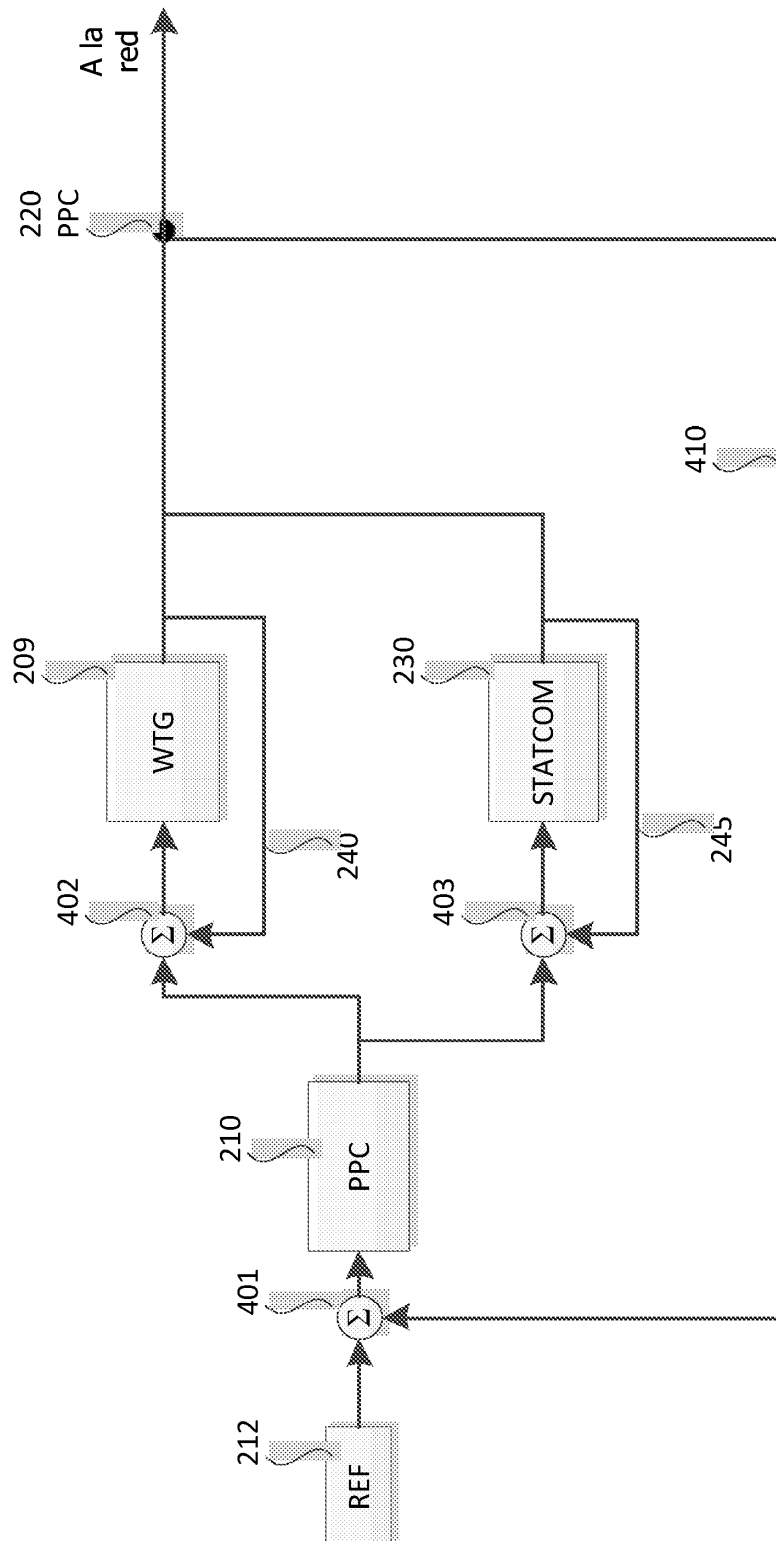


Fig. 4

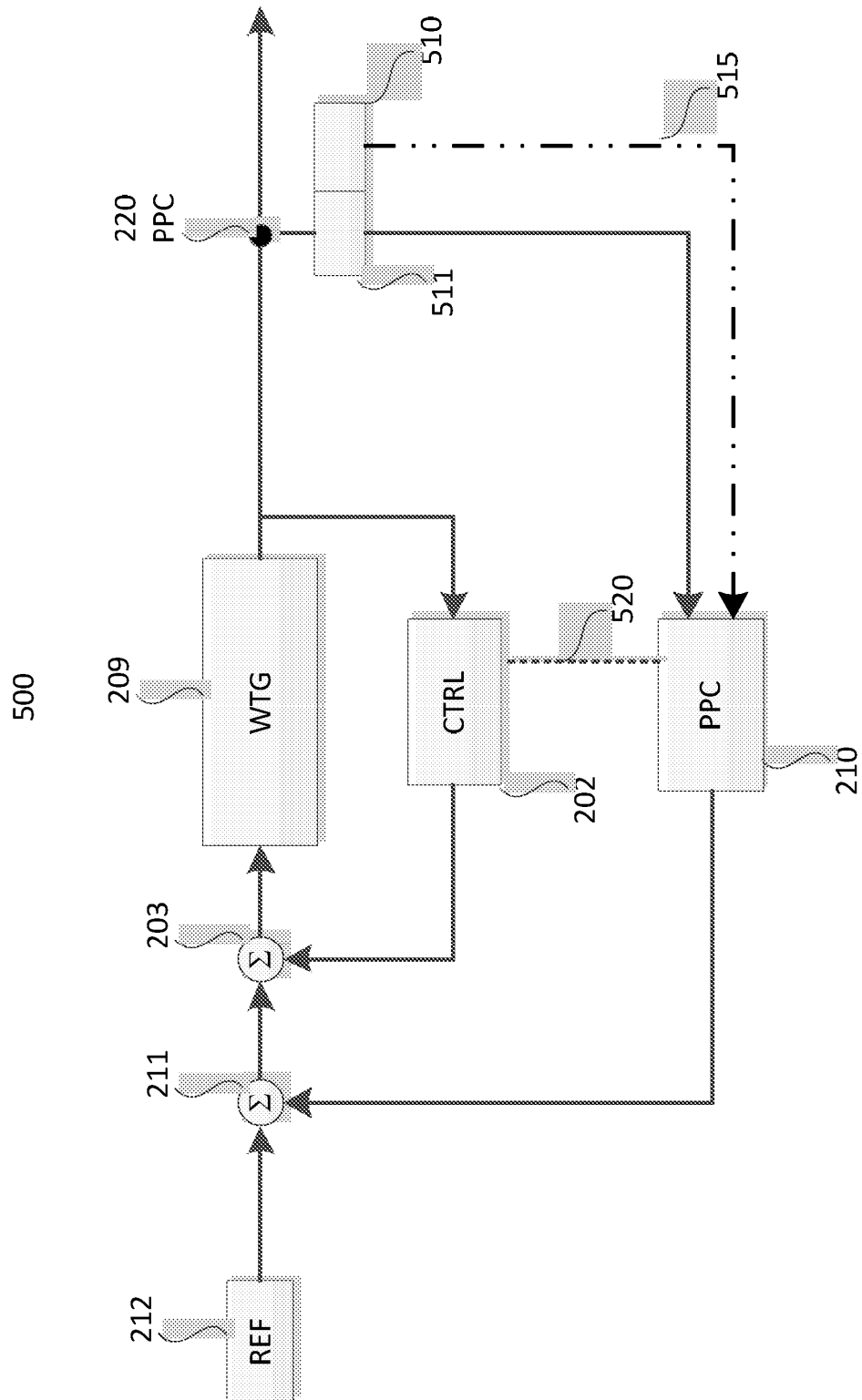


Fig. 5

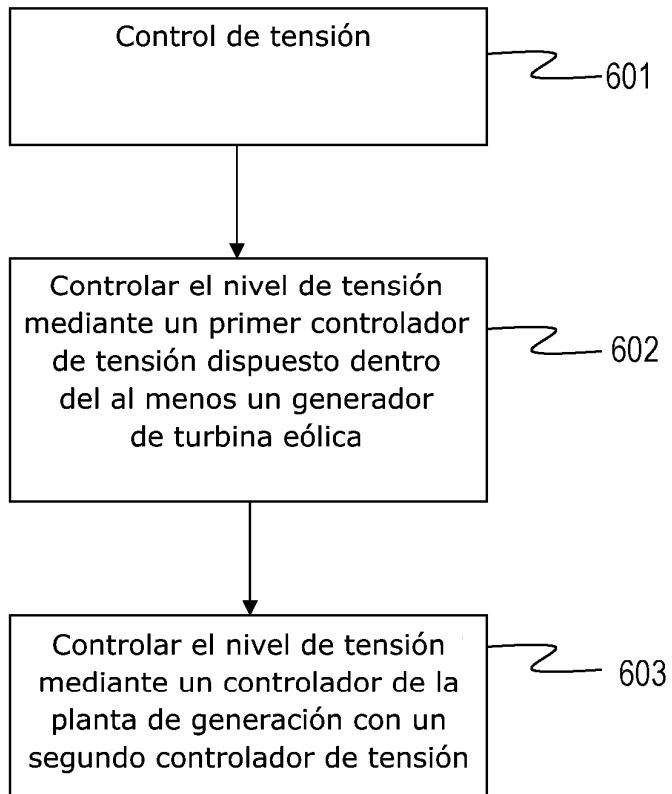


Fig. 6