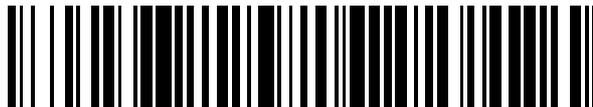


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 786 185**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

H02J 3/16 (2006.01)

H02J 3/50 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.11.2014 PCT/DK2014/050401**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.06.2015 WO15086022**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.11.2014 E 14805172 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2020 EP 3080888**

54 Título: **Una planta de energía eólica y un método para controlar una inyección de corriente reactiva en una planta de energía eólica**

30 Prioridad:
11.12.2013 DK 201370761

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.10.2020

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

72 Inventor/es:
**SABOOR, ABDUL y
GUPTA, MANOJ**

74 Agente/Representante:
ARIAS SANZ, Juan

ES 2 786 185 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

Una planta de energía eólica y un método para controlar una inyección de corriente reactiva en una planta de energía eólica

5

Campo técnico

La presente divulgación describe realizaciones que se refieren generalmente a una planta de energía eólica, y a un método para controlar una inyección de corriente reactiva en una planta de energía eólica.

10

Antecedentes

El desarrollo y la aceptación de la energía eólica como fuente limpia y productiva de energía alternativa están proliferando. La energía eólica puede capturarse por un generador de turbina eólica, que es una máquina rotatoria que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica, y la energía mecánica posteriormente en potencia eléctrica. Las turbinas eólicas de eje horizontal comunes incluyen una torre, una góndola ubicada en el vértice de la torre y un rotor que se soporta en la góndola por medio de un árbol. El árbol acopla el rotor, o bien directa o bien indirectamente, con un conjunto de rotor de un generador alojado en el interior de la góndola. Una pluralidad de generadores de turbina eólica pueden disponerse juntos para formar un parque eólico o planta de energía eólica.

15

20

El aumento significativo de la aceptación de la generación de energía eólica ha llevado a diversos países y operadores de red eléctrica a implementar estrictos requisitos de conexión de red, también conocidos como códigos de red. Algunos códigos de red, por ejemplo, determinados códigos de red en Alemania, España, Sudáfrica, Jordania, Filipinas y otros países, requieren que los generadores de turbina eólica en la planta de energía eólica permanezcan conectados, así como que la planta de energía eólica produzca una inyección de corriente reactiva controlada en el punto de conexión común (PCC) según un perfil de inyección basándose en la caída de tensión durante el fallo de red.

25

Se requiere la inyección de corriente reactiva de la planta de energía eólica para impedir la pérdida de generación de energía durante la condición de fallo de red anómala, así como para mejorar un perfil de tensión global de la planta de energía eólica.

30

Generalmente, los generadores de turbina eólica instalados son capaces de generar corriente reactiva con el fin de cumplir con un requisito de inyección de corriente reactiva durante un fallo de red. Sin embargo, aunque los generadores de turbina eólica son capaces de proporcionar corriente reactiva según un perfil de inyección correspondiente, una planta de energía eólica todavía puede no ser capaz de cumplir con el requisito de inyección de corriente reactiva controlada. Esto se debe a que una porción significativa de la corriente reactiva generada e inyectada desde los generadores de turbina eólica de la planta de energía eólica se consume como reactancia inductiva del generador de turbina eólica, transformadores de subestación de planta de energía eólica, u otros equipos en la planta de energía eólica. Como resultado, la inyección de corriente reactiva total desde la planta de energía eólica en el PCC es, en consecuencia, menor que la cantidad de inyección requerida.

35

40

Además, hay una mejora continua de los requisitos de código de red, algunos de los cuales exigen incluso más inyección de corriente reactiva, en el caso de caídas de tensión ligeras por la red. Esto lleva a situaciones en las que una planta de energía eólica puede no ser capaz de cumplir los requisitos de código de red en vista de las pérdidas provocadas por el equipo interno a la planta.

45

El documento US 2012/0248772 A1 es una solicitud de patente estadounidense cuyo objetivo es recuperarse rápidamente de una caída de tensión en una red de energía. Cuando el valor de una tensión de red detectada por una unidad de detección de tensión de red ha fluctuado para satisfacer una condición previamente establecida para un valor de referencia, un dispositivo de control controla un generador de turbina eólica de manera que una corriente reactiva correspondiente a una corriente de salida requerida que se determina mediante una corriente activa y la corriente reactiva y que indica un nivel de salida a una red de energía en base al resultado de detección de la unidad de detección de tensión de red se emite a la red de energía. Esta técnica anterior se refleja por el preámbulo de las reivindicaciones 1 y 8.

50

55

Sumario

Existe como tal el deseo de un método para controlar una inyección de corriente reactiva en una planta de energía eólica que pueda continuar dando soporte adecuadamente a la red a través de una ocurrencia de fallo de red cumpliendo con requisitos de inyección de corriente reactiva en el punto de acoplamiento común. Según la invención, se proporciona un método para controlar una inyección de corriente reactiva en una planta de energía eólica según la reivindicación 1 y una planta de energía eólica según la reivindicación 8. Se especifican realizaciones de la invención en las reivindicaciones dependientes.

60

65

Breve descripción de los dibujos

En los dibujos, caracteres de referencia semejantes generalmente se refieren a las mismas partes a lo largo de las diferentes vistas. Los dibujos no son necesariamente a escala, poniendo énfasis en su lugar, generalmente, en ilustrar los principios de la presente divulgación. Debe señalarse que los dibujos adjuntos ilustran solamente ejemplos de realizaciones de esta divulgación y, por lo tanto, no deben considerarse limitantes de su alcance, ya que la divulgación puede admitir otras realizaciones igualmente efectivas. En la siguiente descripción, se describen diversas realizaciones de la divulgación con referencia a los siguientes dibujos, en los que:

la figura 1 ilustra una planta de energía eólica según una realización.

La figura 2 ilustra una visión global esquemática de una planta de energía eólica en funcionamiento según una realización.

La figura 3 ilustra una curva de inyección de corriente reactiva de turbina eólica según una realización.

La figura 4 ilustra una curva de inyección de corriente activa de turbina eólica según una realización.

La figura 5 ilustra un esquema de control de corriente reactiva según una realización.

La figura 6 ilustra una inyección de corriente reactiva de planta de energía eólica según una realización.

La figura 7 ilustra un método para controlar una inyección de corriente reactiva en una planta de energía eólica durante un fallo de red según una realización.

La figura 8 ilustra una planta de energía eólica según una realización.

Descripción detallada

A continuación se describen en detalle realizaciones de un método para controlar una inyección de corriente reactiva en una planta de energía eólica y una planta de energía eólica con referencia a las figuras adjuntas. Sin embargo, debe entenderse que la divulgación no está limitada a las realizaciones descritas específicas. Se apreciará que las realizaciones descritas a continuación pueden modificarse en diversos aspectos, rasgos y elementos, sin cambiar la esencia de la divulgación. Además, cualquier referencia a diversas realizaciones no se interpretará como una generalización de ninguna materia objeto inventiva dada a conocer en el presente documento y no se considerará un elemento o limitación de las reivindicaciones adjuntas, salvo que se indique explícitamente en una reivindicación/reivindicaciones.

Según diversas realizaciones, la representación de un elemento dado o la consideración o el uso de un número de elemento particular en una figura particular o una referencia al mismo en el material descriptivo correspondiente puede abarcar el mismo, un equivalente, o un elemento análogo o número de elemento identificado en otra figura o material descriptivo asociado al mismo. El uso de "/" en el presente documento significa "y/o" a menos que se indique específicamente lo contrario.

La presente divulgación puede describir realizaciones de un dispositivo electrónico de consumo que puede hacerse funcionar en diversas orientaciones, y por tanto debe entenderse que cualquiera de los términos "superior", "inferior", "base", "abajo", "de lado", "hacia abajo", etc., cuando se usan en la siguiente descripción se usan por conveniencia y para ayudar a comprender las posiciones o direcciones relativas, y no se pretende que limiten la orientación del medio de registro o un sistema o aparato o producto que incorporen el medio de registro.

Un sistema informático o un controlador o un microcontrolador o cualquier otro sistema que proporcione una capacidad de procesamiento puede presentarse según diversas realizaciones en la presente divulgación. Puede tomarse un sistema de este tipo para incluir un procesador. Una planta de energía eólica y un generador de turbina eólica que funciona en la planta de energía eólica según diversas realizaciones pueden incluir un controlador que puede incluir una memoria que, por ejemplo, se usa en el procesamiento llevado a cabo por el controlador de planta de energía eólica y/o el controlador de turbina eólica. Una memoria usada en las realizaciones puede ser una memoria volátil, por ejemplo una memoria DRAM (memoria dinámica de acceso aleatorio) o una memoria no volátil, por ejemplo, una memoria PROM (memoria de solo lectura programable), una EPROM (PROM borrable), EEPROM (PROM borrable eléctricamente), o una memoria flash, por ejemplo, una memoria de puerta flotante, una memoria de atrapamiento de carga, una MRAM (memoria de acceso aleatorio magnetorresistiva) o una PCRAM (memoria de acceso aleatorio de cambio de fase).

En diversas realizaciones, un "circuito" puede entenderse como cualquier clase de entidad de implementación lógica, que puede ser un conjunto de circuitos de propósito especial o un procesador de ejecución de software almacenado en una memoria, firmware, o cualquier combinación de los mismos. Por tanto, en una realización, un "circuito" puede ser un circuito lógico cableado o un circuito lógico programable, tal como un procesador programable, por ejemplo, un microprocesador (por ejemplo, un procesador de ordenador de grupos de instrucciones complejas (CISC) o un procesador de ordenador de grupos de instrucciones reducidos (RISC)). Un "circuito" también puede ser un procesador

de ejecución de software, por ejemplo, cualquier clase de programa informático, por ejemplo, un programa informático que usa un código de máquina virtual como, por ejemplo, Java. Cualquier otra clase de implementación de las funciones respectivas que se describirá con más detalle a continuación también puede entenderse como un “circuito” según diversas realizaciones alternativas. De manera similar, un “módulo” se define así como una parte de un sistema según diversas realizaciones en la presente divulgación y puede abarcar un “circuito” tal como se indicó anteriormente, o puede entenderse como cualquier clase de entidad de implementación lógica a partir del mismo.

La figura 1 ilustra una planta de energía eólica según una realización. En una realización, se proporciona una planta de turbinas eólicas o una planta de energía eólica 100. Una planta de energía eólica se forma normalmente como una colección de unidades de generación eólica, o generadores de turbina eólica, de manera que el control se centraliza y se realiza un solo acoplamiento a una red de transmisión eléctrica, o una red eléctrica, o una red eléctrica, o una red de energía 160. En diversas realizaciones, la planta de energía eólica 100 puede ser conectable a una red eléctrica 160.

En una realización, la planta de energía eólica 100 incluye una pluralidad de ramas de transmisión 110, 112, 114, cada una incluyendo una pluralidad de generadores de turbina eólica, o turbinas eólicas, 120 conectados eléctricamente a una rama de transmisión correspondiente. En una realización, la planta de energía eólica 100 incluye una flota de generadores de turbina eólica similares 120. El generador de turbina eólica 121 se usa como referencia en la presente divulgación para una descripción que puede aplicarse a la pluralidad de generadores de turbina eólica 120. En otras realizaciones, es posible tener una variedad de generadores de turbina eólica conectados a las ramas de transmisión en la planta de energía eólica. Esto se debe a que los generadores de turbina eólica están normalmente distribuidos geográficamente en diversas ubicaciones donde los vientos predominantes se usarán mejor por diferentes tipos de generadores de turbina eólica. En una realización, existen dos turbinas eólicas conectadas a ramas de transmisión 110, 112, 114. Sin embargo, normalmente no hay directrices en cuanto al número de turbinas eólicas por rama de transmisión, simplemente por preferencia de ubicación física.

Cada rama de transmisión 110, 112, 114 está acoplada a una barra colectora de distribución de planta 136, que también puede conocerse como barra colectora principal, por un disyuntor de rama de transmisión 130, 132, 134. La función del disyuntor de rama de transmisión es proteger tanto las turbinas eólicas conectadas a la rama de transmisión como las demás partes de la planta de energía eólica de sobretensiones o picos de energía que puedan tener lugar cuando haya un fallo en la red eléctrica o en la planta. En tal caso, el disyuntor entra en una condición de circuito abierto, y aísla la rama de transmisión de la planta de energía eólica, hasta que se identifique y se aborde el fallo, y el sistema eléctrico vuelve con el fin de que la reconexión de la rama de transmisión.

La subestación de planta 140 incluye la barra colectora de distribución de planta 136. Las subestaciones de planta pueden ser o bien un área física de la planta de energía eólica o bien un número agregado de rasgos distribuidos por la planta. En una realización, la subestación 140 se presenta como que está ubicada en un área física. Según la realización, los principales componentes de la subestación 140 son el transformador principal 142, que aumenta la energía generada en la planta a una tensión apropiada que va a proporcionarse a una red eléctrica 160, y el conmutador principal 144, que define un interruptor activo para la planta de energía eólica. La subestación de planta 140 se encuentra entre las ramas de transmisión 130, 132, 134 de la planta de energía eólica 100 y el punto de acoplamiento común 146 a la red eléctrica 160.

Según una realización, algún equipo de compensación de potencia 148 se ubica junto con la subestación de planta 140. En una realización, el equipo de compensación de potencia 148 incluye un número de compensadores sincrónicos estáticos (STATCOM), pero también podrían ser posibles otras alternativas, tales como: bancos de condensadores conmutados, bancos de inductores conmutados, condensadores estáticos y condensadores síncronos. El equipo de compensación de potencia 148 se usa para controlar el factor de potencia, el nivel de potencia reactiva contribuido, o el nivel de tensión del punto de acoplamiento común 146. En otras realizaciones, el equipo de compensación de potencia puede distribuirse a y ubicarse en cada generador de turbina eólica 120.

El funcionamiento de la planta de energía eólica 100 está controlado por un controlador de planta de energía (“PPC”) 150 que distribuye diversos puntos de ajuste de referencia a los generadores de turbina eólica individuales 120 en la planta de energía eólica 100. El controlador de planta de energía 150 también recibe múltiples fuentes de mediciones o lecturas de salida de cada generador de turbina eólica 120, así como de diversas ubicaciones en las ramas de transmisión 110, 112, 114, la línea de distribución 136, la subestación de planta 140 y la red eléctrica 160, y usa la información recibida para optimizar la contribución de corriente de fallo de planta de energía eólica a la red eléctrica. El controlador de planta de energía 150 también puede recibir puntos de ajuste para el funcionamiento desde el operador de red de la red eléctrica 160 al que está acoplada la planta de energía eólica 100.

Según una realización, el PPC 150 de la planta de energía eólica 100 forma parte de una red de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) que acopla la planta 100 y la pluralidad de generadores de turbina eólica 120 en la planta 100 a un centro de control y datos remoto. La red SCADA de planta puede incluir acoplamiento de transmisión de datos entre los controladores de turbina y planta proporcionados por una transmisión de fibra óptica cableada.

En una realización, se proporciona un sensor 152 en el punto de acoplamiento común 146, y la salida resultante se

proporciona al PPC 150 para la monitorización de características eléctricas de la red eléctrica 160. Una característica de tensión, corriente y energía puede monitorizarse, y procesarse posteriormente a diversos formatos característicos útiles mediante el PPC 150.

5 El generador de turbina eólica 121 puede incluir una pluralidad de palas de rotor que accionan un árbol principal rotatorio que está acoplado mecánicamente a una caja de engranajes que aumenta la rotación para un árbol de generador de alta velocidad árbol de un sistema de producción de energía 122. En una realización, el sistema de producción de energía 122 incluye un generador de inducción de doble alimentación (DFIG, en el que el árbol de generador está acoplado al rotor de generador o tipo 3). En una realización, el generador es un generador de convertidor completo (tipo 4). El generador tipo 4 está acoplado a un convertidor de energía de escala industrial. El método tal como se describe en las realizaciones de la presente divulgación puede aplicarse tanto a la máquina tipo 3 como a la máquina tipo 4. En el generador de inducción de doble alimentación, el par mecánico se convierte en energía eléctrica, que más adelante en el presente documento se proporciona a un convertidor de frecuencia para acondicionamiento de energía. La salida del convertidor de frecuencia se aumenta con un transformador proporcionado en la turbina, que posteriormente produce energía eléctrica estimada en 30kV (puede ser cualquier tensión que se estima de 10 kV a 35 kV) a la rama de transmisión 110. En diversas realizaciones, el transformador puede aumentar la energía eléctrica hasta una tensión que se estima de desde 10kV hasta 35kV.

20 En otras realizaciones, las turbinas en la planta pueden incluir un sistema de producción de energía que incluye un generador que puede ser un generador síncrono de alimentación simple, un generador de inducción, un generador de imán permanente o cualquier otro tipo de generador que incluye un arrollamiento de estator. Además, las turbinas en otras realizaciones pueden incluir un sistema de producción de energía que incluye accionamiento directo u otros sistemas de accionamiento alternativos, que eliminan el uso de una caja de engranajes tradicional. Cualquier configuración eléctrica de sistema de producción de energía de turbina eólica puede ser posible para satisfacer el propósito de la generación de energía eléctrica a partir de la captura de viento cinética.

30 Según una realización, en funcionamiento normal, el generador de turbina eólica 121 recibe una referencia de potencia desde el PPC 150 de manera que se genera una salida controlada de energía eléctrica. Las referencias de potencia generadas por el PPC 150 dependen de la condición de funcionamiento de red tal como se experimenta por el operador de la red 160, así como el viento tal como se experimenta actualmente para la conversión de energía. En una realización, la referencia de potencia del PPC 150 puede proporcionarse como referencia de potencia activa P^* y referencia de potencia reactiva Q^* , indicando al generador de turbina eólica 121 como la cantidad requerida de potencia que va a generarse y suministrarse por el generador de turbina eólica 121 como parte de la contribución de la planta de energía eólica a la red eléctrica 160. En una realización, la referencia de potencia del PPC 150 también puede ser una referencia de factor de potencia, que puede definirse como la proporción de la energía real respecto a la carga, con respecto a la energía aparente en el circuito.

40 En una realización, el generador de turbina eólica 121 incluye un controlador de turbina eólica (no mostrado). El controlador de turbina eólica incluye capacidades de control para controlar diversos aspectos de la funcionalidad de turbina eólica, por ejemplo, optimización de captura de viento en las capacidades de guiñada de góndola y paso de pala, procedimientos de emergencia tales como el freno de emergencia o el apagado de turbina, o control de producción eléctrica. En diversas realizaciones, el controlador de turbina eólica está configurado para maximizar la producción de energía, impidiendo al mismo tiempo daños a la turbina eólica o a la carga.

45 En una realización, el controlador de turbina eólica puede incluir un controlador de potencia de turbina eólica 124. El controlador de potencia de turbina eólica 124 puede dotarse de potencia de procesamiento, tal como con ordenadores, microprocesadores, microcontroladores, placas de procesamiento de señales digitales (DSP), circuitos integrados específicos de aplicación (ASIC) u otro cualquiera, y con módulos de memoria apropiados adjuntos o cualquier medio de almacenamiento legible por ordenador no transitorio.

50 El controlador de potencia de turbina eólica 124 se proporciona para la supervisión de la capacidad de producción de energía del generador de turbina eólica 121. En diversas realizaciones, el controlador de potencia de turbina eólica 124 está acoplado al PPC 150 y recibe del PPC una referencia de potencia activa P^* y una referencia de potencia reactiva Q^* para un requisito de provisión del generador de turbina eólica 121 a la planta 100. Además, el controlador de potencia de turbina eólica 124 está acoplado a y está en constante comunicación con el controlador de turbina eólica. En diversas realizaciones, la información relativa al control del generador de turbina eólica 121 se proporciona al controlador de turbina eólica para su ejecución, y la información de sensor se proporciona al controlador de potencia de turbina eólica 124 para su uso en la optimización de la generación de energía mediante el generador de turbina eólica 120. En condiciones de funcionamiento normales, la turbina seguirá la referencia P^* y Q^* del PPC.

60 En una realización, el controlador de potencia de turbina eólica 124 se acopla a un sensor de tensión 126 configurado para tomar una medición de tensión eléctrica en el punto de acoplamiento del generador de turbina eólica 121 a la planta de energía eólica 100. En una realización, el sensor de tensión está configurado para tomar una medición de tensión eléctrica en el punto de acoplamiento del generador de turbina eólica 121 a la línea de transmisión 110 como parte de la planta de energía eólica 100. El controlador de potencia de turbina eólica 124 recibe una salida del sensor de tensión 126, que refleja una tensión de la línea de transmisión 110 de la planta de energía eólica 100, que es

también una representación de la tensión de red de la red eléctrica 160 cuando se acopla con la planta de energía eólica 100.

5 Cada uno de los generadores de turbina eólica 120 en la planta de energía eólica 100 incluye de manera similar una entrada de sensor de tensión, estando configurado el sensor de tensión para tomar una medición de tensión eléctrica en el punto de acoplamiento de cada uno de la pluralidad de generadores de turbina eólica 120 a una línea de transmisión de la planta de energía eólica. Cada sensor de tensión proporcionará una lectura individual a un controlador de potencia de turbina eólica proporcionado en cada uno de la pluralidad de generadores de turbina eólica 120 en la planta de energía eólica. A pesar de una reflexión de la tensión de red acoplada a la eléctrica red 160, cada 10 sensor de tensión proporcionará una lectura ligeramente diferente en vista de las diferentes características eléctricas físicas, tales como impedancia, capacitancia e inductancia de cada ubicación de medición hasta el punto de acoplamiento común 146.

15 Según una realización, el sensor de tensión 156 de la turbina eólica 121 se usa para obtener una lectura de tensión de la red eléctrica sometida a un caso de fallo de red, o bien un caso de baja tensión donde la tensión de red cae entre un umbral predeterminado, o un caso de alta tensión, donde la tensión de red se eleva por encima de un umbral predeterminado.

20 En una realización, se proporciona un sensor de tensión en cada una de las líneas de transmisión 130, 132, 134 de la planta de energía eólica. Un sensor de tensión de este tipo registra y monitoriza características de tensión eléctrica de la planta de energía eólica en cada línea de transmisión y proporciona una lectura de salida a cada uno de los generadores de turbina eólica acoplados a la línea de transmisión. Una disposición de este tipo puede ser adecuada para cuando la línea de transmisión incluya generadores de turbina eólica relativamente próximos entre sí, permitiendo de ese modo un tiempo mínimo de retraso en la transmisión de datos, así como solamente una ligera desviación en 25 la variación de transmisión eléctrica física.

La figura 2 ilustra una visión global esquemática de una planta de energía eólica en funcionamiento según una realización. El esquema 200 proporciona una visión global del funcionamiento de la planta de energía eólica 100. Se muestra que la planta de energía eólica 100 va a acoplarse a una red principal o una red eléctrica 160 en un punto de acoplamiento común (PCC) 146. La planta de energía eólica 100 incluye una pluralidad de generadores de turbina eólica 120 acoplados a un bus de transmisión de media tensión 136 que luego se acopla a un transformador principal de alta tensión 142 que además aumenta la tensión de la energía eléctrica generada por los generadores de turbina eólica 120 a una tensión apropiada que va a proporcionarse a la red eléctrica 160.

35 Con respecto a la comunicación de energía eléctrica, se muestra la potencia activa y/o corriente activa proporcionada por la planta de energía eólica 100 a la red eléctrica 160 mediante la flecha direccional 202. Tal como se entiende, la planta de energía eólica 100 es una capacidad de generación de energía y está destinada a proporcionar un flujo de potencia activa a la red eléctrica 160 para la transmisión y distribución para el consumo del cliente. Sin embargo, la potencia reactiva y/o corriente reactiva se muestra que va a fluir bidireccionalmente hacia y desde la red eléctrica 160 40 mediante la flecha 204.

Determinados ejemplos generalizados de flujo de corriente reactiva y/o potencia reactiva pueden darse durante un caso de red de baja tensión, donde se requiere que una planta de energía eólica proporcione una inyección de corriente reactiva como soporte para la recuperación de tensión de red, o durante una fluctuación de red de alta tensión, donde 45 la planta de energía eólica absorbe potencia reactiva como soporte para la recuperación de tensión de red.

En el seguimiento de la provisión de potencia eléctrica desde la planta de energía eólica 100 hasta la red eléctrica 160, se proporciona un conjunto de sensores 252 en un punto de medición (PoM) que se ubica ligeramente aguas abajo desde el punto de acoplamiento común 146. En realizaciones, el PoM puede coincidir con el punto de acoplamiento común. En una realización, un sensor de tensión 254 y un sensor de corriente reactiva 256 se proporcionan en el conjunto de sensores 252 en el PoM. En una realización, una línea de medición dedicada puede proporcionarse para el acoplamiento del conjunto de sensores 252 con el PPC 150, de manera que las mediciones pueden transmitirse y recibirse a través de una línea de comunicación dedicada.

55 En otras realizaciones, pueden proporcionarse diversos sensores adicionales en el PoM para proporcionar una visión global detallada del modo de la generación eléctrica por la planta de energía eólica 100. Se proporciona un controlador de planta de energía centralizado (PPC) 150 y recibe entradas desde los sensores PoM 252 y lleva a cabo los bucles de control de planta de energía eólica, por ejemplo, tensión, frecuencia, control de factor de potencia, límites de potencia y otros diversos factores de control de planta.

60 En una realización, el PPC 150 recibe entradas y objetivos de funcionamiento de operadores de servicios u operadores o propietarios de red de transmisión, y basándose en las entradas lleva a cabo el procesamiento para hacer que la planta de energía eólica 100 suministre o responda según lo solicitado por las entradas y/u objetivos de funcionamiento. En una realización, el PPC 150 recibe objetivos establecidos por el operador de red y posteriormente genera referencias de control de potencia activa y reactiva basándose en tales objetivos. Según una realización, el 65 PPC 150 genera y distribuye o envía referencias de potencia activa y reactiva P^* y Q^* (o P_{ref} y Q_{ref}) a generadores de

turbina eólica 120 en la planta 100, según entradas entrantes u objetivos de un operador de red eléctrica. Debe indicarse que el PPC solo genera referencias de potencia P^* y Q^* durante funcionamiento normal, es decir, cuando la tensión de red se encuentra dentro de una determinada banda según el código de red eléctrica de conexión, y la planta de turbina eólica 100 es generalmente capaz de proporcionar potencia activa a la red eléctrica. En una realización, una banda de funcionamiento determinada por un código de red puede ser de $1,0 \text{ p.u.} \pm 15 \%$. En otras realizaciones, el intervalo puede ser cualquier banda de ventaja productiva para el operador de servicios.

Puede señalarse que la comunicación dentro de la planta de energía eólica 100 puede transmitirse a través de la red SCADA. Además, la comunicación entre la planta de energía eólica y una red u operador de servicios también puede tener lugar a través de la red SCADA. Un controlador central SCADA 208 proporciona control de supervisión sobre la red.

Según una realización, durante un caso de fallo de red, es decir, cuando la tensión de red se desvía fuera de la banda de funcionamiento normal, el PPC 150 cesa la generación de las referencias de potencia activa y reactiva para su distribución a los generadores de turbina eólica 120, y fija las referencias de potencia activa y reactiva para los generadores de turbina eólica 120. En cambio, el PPC 150 genera una referencia de control de corriente activa I_{dref} y una referencia de control de corriente reactiva I_{qref} para su distribución a los generadores de turbina eólica 120. Las referencias de corriente activa y reactiva I_{dref} e I_{qref} se generan con el fin de que la planta de energía eólica cumpla con los requisitos de inyección de corriente reactiva durante un caso de fallo de red.

En realizaciones, cada uno de los generadores de turbina eólica 120 en la planta de energía eólica 100 incluye un controlador de potencia 124 configurado para recibir las referencias de potencia activa y reactiva y las referencias de corriente activa y reactiva del PPC 150, y para controlar correspondientemente diversos factores en el sistema de producción de potencia 122 del generador de turbina eólica 120 para que el generador de turbina eólica 120 proporcione lo solicitado por la referencia generada por el PPC.

Según diversas realizaciones, la planta de energía eólica 100 se configura para hacerse funcionar a través de un fallo de red y soportar la recuperación de la red eléctrica. En el caso de un fallo de red, o la desviación de la tensión de red de una banda de funcionamiento o intervalo de funcionamiento, en una realización predeterminada para ser $1,0 \text{ p.u.} \pm 15 \%$, la planta de energía eólica generalmente busca llevar a cabo un modo de respuesta ante fallos en el que la planta de generación de energía permanece conectada a la red eléctrica y continúa dotando a la red eléctrica del soporte necesario.

En diversas realizaciones, la planta de energía eólica 100 se configura para hacerse funcionar a través de un caso de red de baja tensión o un fallo de red de baja tensión y para soportar la recuperación de la red eléctrica 160 del fallo de red. Según diversas realizaciones, un caso de baja tensión se detecta cuando la tensión de red cae a o por debajo de $0,85 \text{ p.u.}$. En tal caso, la planta de energía eólica 100 inicia un modo de respuesta ante fallos, y el PPC 150 cesa la generación de referencias de potencia activa y reactiva P^* y Q^* y los controles en el PPC 150 se fijan en un modo de fijación.

Tras el inicio de un modo de respuesta ante fallos de la planta de energía eólica, los generadores de turbina eólica 120 en la planta de energía eólica 100 entran de manera similar en un modo de respuesta ante fallos. En una realización, un generador de turbina eólica entra en un modo de respuesta ante fallos al recibir una indicación transmitida del PPC para entrar en un modo de respuesta ante fallos. En una realización, un generador de turbina eólica entra en un modo de respuesta ante fallos al detectar una caída en la lectura de tensión de un sensor de tensión acoplado al controlador de generador de potencia de turbina eólica, lo que indica un caso de fallo de baja tensión.

Al entrar en un modo de respuesta ante fallos, el controlador de potencia 124 del generador de turbina eólica 121 configura el sistema de producción de potencia de turbina eólica 122 para producir una corriente reactiva para su inyección a la red eléctrica 160. La figura 3 ilustra una curva de inyección de corriente reactiva de turbina eólica 300 según una realización. La curva 300 es específica para el generador de turbina eólica según una realización, y puede variar según los diversos modelos y tipos de turbina. La curva 300 ilustra la cantidad de inyección de corriente reactiva I_q (p.u.) que se supone que el generador de turbina eólica proporciona a la red eléctrica 160 basándose en la tensión de red U (p.u.). Tal cantidad puede determinarse como una contribución de corriente reactiva requerida dada de la planta de energía eólica. El generador de turbina eólica actúa como una fuente de corriente e inyecta una cantidad definida de corriente según la curva.

En una realización, la banda de funcionamiento de referencia o la banda de funcionamiento normal para un generador de turbina eólica se proporciona como $1,0 \pm 10 \%$ p.u. o de $0,9 - 1,1$ p.u. Si la tensión de red de la red eléctrica 160 se desvía de la banda de funcionamiento, por ejemplo, cae por debajo de $0,9 \text{ p.u.}$, el generador de turbina eólica entra en un modo de respuesta ante fallos y el controlador de potencia 124 del generador de turbina eólica 121 proporciona control sobre el sistema de producción de potencia 122 de la turbina eólica con el fin de generar una inyección de corriente reactiva según la curva 300.

Por ejemplo, según la curva 300, si la tensión de red cae a $0,6 \text{ p.u.}$, se controla el generador de turbina eólica 121 para generar una corriente reactiva I_q de $0,6 \text{ p.u.}$ para su provisión a la red eléctrica. En otro ejemplo, si la tensión de

red cae por debajo de 0,4 p.u., se controla el generador de turbina eólica para generar una corriente reactiva I_q de 1,0 p.u. para su provisión a la red eléctrica. Cabe señalar además que si la tensión de red se eleva por encima del intervalo proporcionado por la banda de funcionamiento normal, el generador de turbina eólica 121 se configura para aceptar o absorber una inyección de corriente reactiva de la red eléctrica. Una situación de este tipo ocurre durante una respuesta ante fallos de alta tensión iniciado por el controlador de potencia de turbina eólica.

En diversas realizaciones, cuando la tensión de red cae por debajo de una banda de funcionamiento normal predeterminada, los generadores de turbina eólica se diseñan o configuran para reducir la generación y suministro de potencia activa o corriente activa para su provisión a la red eléctrica. La figura 4 ilustra una curva de inyección de corriente activa de turbina eólica 400 según una realización. La curva 400 es específica para el generador de turbina eólica según una realización, y puede variar según los diversos modelos y tipos de turbina. La curva 400 ilustra cómo se pretende que la corriente activa I_p (p.u.) varíe con respecto a la tensión de red U (p.u.).

En diversas realizaciones, la curva 400 se separa en tres zonas para un funcionamiento eficiente. En otras realizaciones, también puede proporcionarse una respuesta de inyección de corriente activa totalmente variable. La intención de la curva 400 al variar la inyección de corriente activa con respecto a la tensión de red eléctrica es tal que el generador de turbina eólica no sobrepase la red de baja tensión con potencia activa cuando la red eléctrica no puede hacer frente a una función de distribución y transmisión de potencia debido al entorno de baja tensión de red. Además, la variación de la inyección de corriente activa permite al generador de turbina eólica reducir la capacidad de producción de corriente activa para permitir así un aumento de la capacidad de producción de corriente reactiva.

Según una realización, cuando la tensión de red oscila de 0,9 p.u. a 1,1 p.u., o dentro de una banda de funcionamiento normal predeterminada, se permite que el generador de turbina eólica genere y suministre a la red eléctrica 160 corriente activa a 1,0 p.u. Este intervalo de tensión de red se clasifica como zona 1 según una realización. Se determina que la zona 2 se encuentra en un intervalo de tensión de red de 0,5 - 0,9 p.u. En esta zona, la capacidad de inyección de corriente activa del generador de turbina eólica se hace descender a 0,4 p.u. El gradiente de la curva 400 en la transición de la zona 1 a la zona 2, es decir, de 1,0 p.u. a 0,4 p.u., determina la forma de la curva de inyección de corriente y, por tanto, también repercute en la cantidad de inyección de corriente. En tal caso, el gradiente de transición de la curva de inyección de corriente puede alterarse cuando sea necesario y según la situación.

En una realización, la zona 3 se determina a partir de una tensión de red inferior a 0,5 p.u. Si la tensión de red cae en la zona 3, la capacidad de producción de corriente activa del generador de turbina eólica se corta totalmente, lo que permite una producción máxima de corriente reactiva en su lugar.

Como se mencionó anteriormente, surge un problema durante la provisión de corriente reactiva por una planta de energía eólica 100, donde debido a la presencia y conexión de diversos equipos de planta, la corriente reactiva tal como se consolida o suma en el PoM o el punto de acoplamiento común no es equivalente a la cantidad de corriente reactiva requerida por la red eléctrica. En otras palabras, el operador de red de servicios proporciona un requisito de inyección de corriente reactiva basado en la tensión de red a la planta de energía eólica, para lo cual cada generador de turbina eólica en la planta de energía eólica almacena en su controlador de potencia de turbina eólica como referencia durante un caso de fallo de red.

Aunque los generadores de turbina eólica normalmente cumplen con la cantidad de corriente reactiva que se requiere que se inyecte, cuando la corriente reactiva generada se consolida o se suma a un nivel de planta global, la corriente reactiva resultante en el punto de acoplamiento común que indica la cantidad de corriente reactiva que la planta va a proporcionar a la red eléctrica puede no coincidir con la cantidad de corriente reactiva que se supone que la planta inyecta basándose en los requisitos proporcionados. En realizaciones de la presente divulgación, la corriente reactiva generada a partir de los generadores de turbina eólica que se consolida en un nivel de planta global para su entrega a la red puede entenderse como una cantidad de corriente reactiva que va a proporcionarse por la planta de energía eólica a la red durante un fallo. Una deficiencia de este tipo en la que la corriente reactiva resultante no se iguala a la contribución de corriente reactiva requerida podría deberse a la inyección de corriente reactiva de equipo de planta interno, así como a la disposición de planta y a la configuración de línea de transmisión. Además, tal consumo de corriente reactiva interna puede variar según la tensión de red.

Según una realización, se proporciona una planta de energía eólica 100. La planta de energía eólica 100 está dotada de un método controlado dinámicamente para controlar la planta de energía eólica y capacidades correspondientes para hacer funcionar un método controlado dinámicamente para controlar la planta de energía eólica. El método controlado dinámicamente pretende superar la pérdida de inyección de corriente reactiva durante el consumo de equipo de planta interno, así como mejorar el perfil de tensión global de la planta de energía eólica.

La figura 5 ilustra un esquema de control de corriente reactiva según una realización. Un esquema de control de corriente de este tipo permite que el PPC 150 proporcione un modo de corriente de respuesta ante fallos en el control de los generadores de turbina eólica 120. En una realización, el modo de corriente se activa cuando la tensión de red cae por debajo de 0,9 p.u., o fuera de la banda de funcionamiento normal, que también establece la señal de fijación en el PPC 150. Cuando se activa la señal de fijación, el PPC 150 cesa la generación y distribución de referencias de potencia activa y reactiva P^* y Q^* . Cuando la señal de fijación se recibe por el controlador de potencia de turbina eólica

124, las últimas referencias de potencia activa y reactiva P^* y Q^* recibidas del PPC 150 también se almacenan para su posterior utilización. En el controlador de potencia de turbina eólica, puede iniciarse un esquema de inyección de corriente reactiva de respuesta ante fallos al recibir la señal de fijación, o a través de cualquier otro factor predeterminado, por ejemplo, la detección de una caída en la tensión de red por un sensor acoplado al controlador de potencia de turbina eólica.

Según una realización, el controlador de planta de energía 150 incluye una pluralidad de módulos proporcionados dentro del PPC 150, los módulos configurados para hacer funcionar una parte del esquema 500. En una realización, el PPC 150 incluye un módulo que hace funcionar el esquema 500. En una realización, el PPC incluye una memoria no transitoria en la que se proporcionan instrucciones para llevar a cabo un esquema 500, el PCC incluye además un componente de procesamiento configurado para leer y ejecutar las instrucciones para llevar a cabo el esquema 500.

En diversas realizaciones, PPC 150 recibe una referencia de corriente reactiva 502 de un operador de servicios. En realizaciones, la referencia de corriente reactiva 502 se determina a partir de un requisito de inyección de corriente reactiva proporcionado por un código de red emitido por el operador de servicios. En realizaciones, el PPC 150 incluye un módulo de determinación de referencia de corriente reactiva configurado para determinar la referencia de inyección de corriente reactiva a partir de un requisito de inyección de corriente reactiva dotado de un código de red, y emitir posteriormente la referencia de corriente reactiva.

En diversas realizaciones, el PPC 150 incluye un módulo de medición de corriente reactiva configurado para obtener la salida de inyección de corriente reactiva de la planta de energía eólica 100 y proporcionar una corriente reactiva medida 504. En realizaciones, el módulo de medición de corriente reactiva recibe una entrada desde un sensor de corriente reactiva 256 proporcionado en el PoM que puede coincidir con el punto de acoplamiento común o está ligeramente aguas abajo del mismo. La entrada desde el sensor de corriente reactiva 256 indica la cantidad total de corriente reactiva que va a proporcionarse como inyección por la planta de energía eólica. La cantidad total de corriente reactiva que va a proporcionarse incluye la corriente reactiva generada por la pluralidad de generadores de turbina eólica en la planta de energía eólica y el desplazamiento por la cantidad de corriente reactiva consumida por el equipo de planta dentro de la planta de energía eólica. En una realización, el módulo de medición de corriente reactiva recibe una entrada analógica del sensor de corriente reactiva y lleva a cabo un procesamiento de señal para proporcionar una salida digital de corriente reactiva medida.

Según una realización, se proporciona un módulo de suma 506, el módulo de suma configurado para recibir una referencia de corriente reactiva 502 y una corriente reactiva medida 504, y proporcionar una diferencia entre la referencia de corriente reactiva 502 y la corriente reactiva medida 504. La salida del módulo de suma 506, la diferencia entre la referencia de corriente reactiva 502 y la corriente reactiva medida 504, se proporciona posteriormente a un controlador de corriente reactiva 508.

En una realización, el controlador de corriente reactiva 508 puede formar parte de una disposición de retroalimentación de control que determina una diferencia en un par de entradas, y busca minimizar la diferencia ajustando diversas entradas de control relacionadas. En una realización, la disposición de retroalimentación de control es una disposición para un controlador proporcional-integral (PI). En una realización, el controlador de corriente reactiva 508 puede ser un controlador PI. En otra realización, la disposición de retroalimentación de control es una disposición para un controlador proporcional-integral-derivado.

Según una realización, la salida del módulo de suma 506, que es el valor de diferencia entre la referencia de corriente reactiva 502 y la corriente reactiva medida 504, se proporciona al controlador de corriente reactiva 508. El controlador de corriente reactiva 508 calculará y generará una referencia de corriente reactiva $I_{qref(WPP)}$ basándose en el valor de diferencia. La referencia de corriente reactiva $I_{qref(WPP)}$ representa una cantidad adicional de corriente reactiva que la planta de energía eólica 100 va a producir para superar la deficiencia debida al consumo de corriente reactiva de planta interno, y proporcionar una cantidad de coincidencia de inyección de corriente reactiva según lo requerido por el operador de servicios en los códigos de red proporcionados. Esta cantidad adicional de corriente reactiva es además de lo que los generadores de turbina eólica de la planta de energía eólica generarán según la curva de inyección de corriente reactiva proporcionada por el código de red.

Además, el controlador de corriente reactiva 508 recibe una señal de comunicación en modo FRT desde un controlador principal en el PPC 150. Se proporciona la señal de comunicación en modo FRT que indica que el PPC 150 entrará en modo de fijación al fijar la entrega de referencia de potencia activa y reactiva a los generadores de turbina eólica 120, y para que el modo de inyección de corriente comience a funcionar. Además, se proporciona una señal de comunicación en modo de funcionamiento desde el controlador de corriente reactiva 508 hasta un controlador principal en el PPC 150 como señal de estado para confirmar que ha comenzado el control de inyección de corriente y que se está generando la referencia de corriente reactiva $I_{qref(WPP)}$.

Según una realización, el controlador de corriente reactiva 508 del PPC 150 proporciona la referencia de corriente reactiva generada $I_{qref(WPP)}$ a un módulo de acondicionamiento de señal 510. El módulo de acondicionamiento de señal 510 lleva a cabo una distribución de la referencia de corriente reactiva $I_{qref(WPP)}$ para la pluralidad de generadores de turbina eólica 120 en la planta de energía eólica 100, de manera que cada generador de turbina eólica aporta una

cantidad de corriente reactiva que cuando se coteja en el PoM coincide con el requisito de inyección de corriente reactiva de la planta de energía eólica 100.

5 Posteriormente, el controlador de potencia de turbina eólica 124 recibe una referencia de inyección de corriente reactiva I_{qref} del PPC 150, o un módulo de envío proporcionado en el PPC 150. Como se indicó previamente, en una situación de respuesta ante fallos, el controlador de potencia 124 proporciona una inyección de corriente reactiva según una curva de inyección de corriente reactiva. Como tal, el controlador de potencia 124 está configurado para proporcionar una corriente reactiva I_q según la curva de inyección de corriente.

10 Según una realización, se proporciona una referencia de inyección de corriente reactiva I_{qref} del PPC 150 al controlador de potencia 124, que solicita al generador de turbina eólica 121 proporcionar una cantidad adicional de corriente reactiva, además de la corriente reactiva I_q que va a generarse según la curva de inyección de corriente. Según una realización, un controlador de potencia 124 está configurado para producir una cantidad de corriente reactiva equivalente a $I_q + I_{qref}$.

15 Para lograr este requisito adicional de I_{qref} en una tensión de generador de turbina eólica conocida, se modifican algunos factores de funcionamiento, que afectan y varían la respuesta de la inyección de corriente reactiva del generador de turbina eólica. Según una realización, tales factores pueden cambiarse según una tabla de consulta proporcionada y almacenada en el controlador de potencia 124. En una realización, el controlador de potencia 124 incluye un módulo de tabla de consulta, estando configurado el módulo para almacenar una tabla de consulta para la modificación de factores de funcionamiento, y para determinar un parámetro de funcionamiento para el ajuste con la tabla de consulta.

20 Según una realización, se proporciona un ejemplo representativo de una tabla de consulta de parámetros de la siguiente manera:

Tabla 1 - Tabla de consulta de parámetros

Parámetro	Ajuste
Factor K	2 a 5
Factor K	5 a 10
CC LIM	1pu a 1,1pu
U_LL LIM	0,9pu a 0,95pu
U_LL LIM	0,95pu a 1,0pu
I_desviación	0 a 0,1 pu
I_desviación	0 a 0,2pu

30 Según una realización, las modificaciones según la tabla 1 de tabla de consulta pueden mostrarse con respecto a la curva de inyección de corriente reactiva 300 de la figura 3. Al ajustar los parámetros de funcionamiento anteriores según la tabla 1, se modifica la curva de inyección de corriente reactiva predeterminada 300, lo que mejora la capacidad de inyección de corriente reactiva del generador de turbina eólica.

35 En la tabla 1, K se refiere a la pendiente de inyección de corriente desde la provisión inicial y puede considerarse como I_q/U . Un factor K típico tal como se proporciona en diversos códigos de red puede ser 2. En una realización, la tabla de consulta dirige el controlador de potencia para ajustar el factor K de 2 a 5 en una iteración. En otra iteración, el factor K se ajusta de 5 a 10. Cuanto mayor sea el valor de factor K, mayor será la corriente reactiva disponible cuando la tensión de red cae por debajo de 0,9 p.u. (cuando comienza la inyección de corriente). En la figura 3, se muestra un ajuste a un valor de factor K de 10, subiendo la pendiente mostrada hasta el punto P3. Esto permite una cantidad de corriente reactiva de 1,0 p.u. que va a proporcionarse cuando la tensión de red cae a 0,8 p.u.

40 En la tabla 1, CC_LIM se refiere a la corriente máxima que puede proporcionarse para un funcionamiento de soporte de baja tensión de red. Normalmente, la cantidad máxima de corriente reactiva se establece en 1,0 p.u. Según una realización, la turbina eólica 121 incluye una función de diseño que permite que se aumente una corriente de tiempo corta por encima de 1,0 p.u. En una realización, CC_LIM se ajusta a 1,1 p.u.

45 Según una realización, en el caso de un caso de red de alta tensión, el generador de turbina eólica está configurado para proporcionar una inyección de corriente reactiva negativa. En otras palabras, el generador de turbina eólica absorbe una corriente reactiva desde la red para proporcionar soporte para la recuperación de red. En una situación de este tipo, se proporciona una tabla de consulta independiente para un esquema según una realización. La tabla de consulta podría incluir parámetros que ajustan la curva de potencia de inyección de corriente reactiva. Uno de los parámetros de la tabla de consulta puede ser IC_LIM, para lo cual se refiere a la corriente máxima que puede proporcionarse en el funcionamiento de soporte de alta tensión de red. Además, otro parámetro que puede ajustarse para mejorar la capacidad de un generador de turbina eólica en el soporte de una recuperación de alta tensión de red puede ser U_HL_LIM, que indica la tensión de red a partir de cuándo puede iniciarse la inyección de corriente reactiva.

A partir de la tabla 1, U_{LL_LIM} se refiere a la tensión de red de cuando se inicia la generación de corriente reactiva. Por defecto, la configuración de tensión es la misma que cuando el generador de turbina eólica entrará en un modo de respuesta ante baja tensión. Según una realización, U_{LL_LIM} puede ajustarse desde 0,9 p.u. hasta 0,95 p.u. En una realización, el parámetro U_{LL_LIM} puede ajustarse a 1,0 p.u., es decir, puede proporcionarse corriente reactiva una vez que la tensión de red se desvíe por debajo del valor de funcionamiento normal de 1,0 p.u. El ajuste hacia arriba de U_{LL_LIM} proporciona una respuesta más controlada con respecto a la variación de tensión de red. En la figura 3, se muestra un ajuste de U_{LL_LIM} , con el límite inferior de la tensión de red para el que el generador de turbina eólica inicia la inyección de corriente reactiva establecida a 1,0 p.u. Esto proporciona al generador de turbina eólica una capacidad de generar inmediatamente corriente reactiva una vez que la tensión de red descienda por debajo de 1,0 p.u., y cuando se combina con un ajuste del valor del factor K a 10, permite al generador de turbina eólica proporcionar una corriente reactiva de salida de hasta 1,0 p.u. cuando la tensión de red cae a 0,8 p.u.

A partir de la tabla 1, $I_{desviación}$ puede referirse a una desviación de corriente en la que se inicia la generación de corriente reactiva, es decir, al valor de tensión establecido por U_{LL_LIM} . Según una realización, el valor $I_{desviación}$ puede ajustarse a 0,1 p.u. En una realización, el valor $I_{desviación}$ puede ajustarse a 0,2. p.u.

Según una realización, el esquema de control de corriente reactiva 500 se llevará a cabo iterativamente. Una vez que se ha proporcionado una referencia de corriente reactiva I_{qref} a respectivos generadores de turbina eólica en la planta, se genera una corriente reactiva adicional de este tipo, además de lo que los generadores de turbina eólica han emitido anteriormente. Después, el módulo de medición de corriente reactiva obtiene una siguiente medición de inyección de corriente reactiva en el PoM, que incluye la inyección de corriente reactiva adicional relacionada con $I_{qref(WPP)}$, tal como se envía a los generadores de turbina eólica 120 por el PPC 150. Esta siguiente medición se compara de manera similar en el módulo de suma 506 con la referencia de corriente reactiva 502.

Según una realización, el PPC 150 está configurado para ejecutar una siguiente iteración del esquema 500 si todavía hay una diferencia positiva entre la referencia de corriente reactiva 502 y la corriente reactiva medida 504, es decir, si la referencia de corriente reactiva 502 es mayor que la corriente reactiva medida 504. En el caso de que la corriente reactiva medida 504 obtenida por el módulo de medición de corriente reactiva después de corresponder a los generadores de turbina eólica que proporcionan una cantidad de corriente reactiva equivalente a $I_q + I_{qref}$ sea todavía inferior a la referencia de corriente reactiva 502, se considera que la pérdida se debe al consumo de corriente reactiva dentro de la planta y se lleva a cabo una siguiente iteración del esquema 500 para aumentar adicionalmente la inyección de corriente reactiva por los generadores de turbina eólica. Se llevan a cabo múltiples iteraciones del esquema 500 hasta que la corriente reactiva medida 504, correspondiente a la cantidad de inyección de corriente reactiva que va a proporcionarse por la planta de energía eólica 100 sea igual o superior a la referencia de corriente reactiva 502 según lo estipulado por el código de red publicado por el operador de servicios.

Según una realización, en una siguiente iteración del esquema 500 llevada a cabo por el PPC 150 que da como resultado una referencia de corriente reactiva I_{qref} entregada al generador de turbina eólica, un módulo de tabla de consulta en el controlador de potencia 124 está configurado para determinar un parámetro de funcionamiento posterior para el ajuste, basándose en la tabla de consulta de parámetros. Como se indicó, la tabla de consulta de parámetros aparece en orden de significación, correspondiendo cada entrada posterior en la tabla a un impacto progresivamente mayor en los parámetros de funcionamiento en el generador de turbina eólica, que lleva teóricamente a más corriente reactiva generada.

En una realización, en el caso de que múltiples iteraciones del esquema 500 lleven a un agotamiento de la lista de entradas en la tabla de consulta de parámetros, el módulo de tabla de consulta puede activar una tabla de consulta posterior para referencia en la modificación de parámetros de funcionamiento en el funcionamiento del módulo de producción de potencia. En una realización, la posterior tabla de consulta es una tabla de consulta de capacidad de inyección de corriente activa, en la que se proporciona cada entrada para disminuir progresivamente la cantidad de capacidad de inyección de corriente activa de un generador de turbina eólica.

En una realización se proporciona un ejemplo representativo de una inyección de corriente activa tabla de consulta de la siguiente manera:

Tabla 2: Tabla de consulta de inyección de corriente

Parámetro	Ajuste
ZonadeLímitedeCorrienteActiva2U1	0,8 →0,85
ZonadeLímitedeCorrienteActiva2U2	0,8 →0,4
ZonadeLímitedeCorrienteActiva2I	0,4 →0,2
ZonadeLímitedeCorrienteActiva3U1	0,4 →0,45
ZonadeLímitedeCorrienteActiva3U2	0,4 →0,1

Se hace referencia a la curva de inyección de corriente activa 400 en la figura 4. El parámetro "ZonadeLímitedeCorrienteActiva2U1" se indica como Z_{2U1} , el parámetro "ZonadeLímitedeCorrienteActiva2U2" se indica como Z_{2U2} , el parámetro "ZonadeLímitedeCorrienteActiva2I" se indica como Z_{2I} , el parámetro

“ZonadeLímitedeCorrienteActiva3U1” se indica como Z_3U_1 , el parámetro “ZonadeLímitedeCorrienteActiva3U2” Z_3U_2 , y el parámetro “ZonadeLímitedeCorrienteActiva3I” se indica como Z_3I .

A partir de la tabla de consulta de inyección de corriente activa puede observarse que los ajustes a los diversos parámetros que pertenecen a la curva de inyección de corriente activa 400 permitirían reducir la cantidad de corriente activa que el generador de turbina eólica es capaz de generar, y en un mayor valor tensión de red, con respecto a un caso de red de baja tensión. Generalmente, un generador de turbina eólica es capaz de producir corriente hasta 1,44 p.u. La cantidad de corriente reactiva que un generador de turbina eólica puede, por tanto, proporcionar se da por $\sqrt{1.44 - i_d}$ p.u., donde i_d se proporciona por la curva de inyección de corriente activa modificada 400.

Según una realización, el PPC 150 lleva a cabo iterativamente el esquema 500. Una medición siguiente de inyección de corriente reactiva se toma en el PoM después de que los respectivos generadores de turbina eólica en la planta hayan recibido y reaccionado en consecuencia a la referencia de corriente reactiva proporcionada I_{qref} . El PPC 150 lleva a cabo una determinación de si todavía hay una diferencia positiva entre la referencia de corriente reactiva 502 y la corriente reactiva medida 504, para lo cual lleva a cabo de ese modo una siguiente iteración del esquema 500 para aumentar adicionalmente la inyección de corriente reactiva por los generadores de turbina eólica. En una realización, el módulo de tabla de consulta del controlador de potencia de turbina eólica está configurado para determinar un parámetro de inyección de corriente activo posterior para el ajuste de manera que el generador de turbina eólica está dotado de una capacidad de inyección de corriente de reacción mejorada.

La figura 6 ilustra una inyección de corriente reactiva de planta de energía eólica según una realización. El gráfico 600 establece el requisito de código de red 602 para una planta de energía eólica conectada a la red, que determina la cantidad de corriente reactiva que la planta de energía eólica va a proporcionar, con respecto a la tensión de red. 604 muestra la cantidad de corriente reactiva medida en el PoM para la planta de energía eólica que funciona en generación y consolidación de corriente reactiva ante baja tensión normal. Cabe señalar que, por ejemplo, cuando la tensión de red está a 0,5 p.u., el código de red requiere que la planta de energía eólica proporcione una inyección de corriente reactiva de 1,0 p.u.. Sin embargo, la planta de energía eólica solo proporciona una inyección de 0,9 p.u., lo que podría deberse al consumo de corriente reactiva interna por parte de los equipos de la planta. Puede señalarse que la planta de energía eólica no puede cumplir los requisitos de red y, de ese modo, puede ser objeto de repercusiones si no modifica su producción para hacerlo.

606 ilustra la curva de inyección de corriente reactiva según una planta de energía eólica, llevando a cabo un método para controlar una inyección de corriente reactiva en una planta de energía eólica según una realización de la presente divulgación. Según una realización, el PPC de una planta de energía eólica determina que hay una diferencia entre el requisito de red de inyección de corriente reactiva y la cantidad real que va a proporcionarse por la planta de energía eólica, y genera una referencia de corriente reactiva para la generación de corriente reactiva adicional por una pluralidad de generadores de turbina eólica dentro de la planta de energía eólica.

En los generadores de turbina eólica, un módulo de tabla de consulta en un controlador de potencia de turbina eólica proporciona una determinación de un parámetro de funcionamiento que afecta a una curva de inyección de corriente reactiva predeterminada, y mejora la capacidad de inyección de corriente reactiva de generador de turbina eólica. Según una realización, el método o esquema se lleva a cabo iterativamente hasta que se cumple o excede el requisito de código de red.

Según una realización, al llevar a cabo el método según una realización, el valor de CC_LIM del generador de turbina eólica se ajusta a 1,1 p.u., el U_LL_LIM se ajusta a 0,95 p.u., e $I_desviación$ se ajusta a 0,1 p.u. La salida resultante se representa gráficamente y se proporciona como la curva 606. Puede observarse, por tanto, que, con la implementación del método según una realización y la configuración de los parámetros mencionados anteriormente en los generadores de turbina eólica, puede observarse una marcada mejora en cuanto a la cantidad total de corriente reactiva proporcionada por la planta de energía eólica a la red durante el fallo de red, que satisface los requisitos de código de red impuestos por el operador de servicios en la planta de energía eólica.

La figura 7 ilustra un método 700 para controlar una planta de energía eólica durante un fallo de red según una realización. En 710, el método incluye medir una cantidad de corriente reactiva que va a proporcionarse por la planta de energía eólica a la red durante el fallo de red. En 720, el método incluye determinar una diferencia entre una contribución de corriente reactiva requerida dada a partir de la planta de energía eólica y la cantidad de corriente reactiva que va a proporcionarse por la planta de energía eólica a la red durante el fallo de red. En 730, el método incluye controlar una pluralidad de generadores de turbina eólica en la planta de energía eólica para generar corriente reactiva adicional según una referencia de corriente reactiva generada basándose en la diferencia.

Al proporcionar un método de este tipo para controlar una inyección de corriente reactiva en una planta de energía eólica durante un fallo de red, se proporciona un método dinámico para manejar la inyección de corriente reactiva para soportar un caso de fallo de tensión de red. Esto dota a la planta de energía eólica de una capacidad de controlar dinámicamente diversos parámetros de funcionamiento para aumentar la capacidad de inyección de corriente reactiva, de manera que la cantidad consolidada de corriente reactiva para inyección a la red cumple con los requisitos

- 5 predefinidos tal como se establece por un operador de servicios de red. Por tanto, se reduce o elimina la necesidad de equipo de compensación adicional costoso para proporcionar la capacidad de corriente reactiva adicional. Además, si los cambios en la disposición de planta de energía eólica, por ejemplo, la introducción de un nuevo transformador o si un número de generadores de turbina eólica dejan de estar en funcionamiento, crean una desviación con respecto a los requisitos de red, pueden llevarse a cabo iteraciones adicionales del método proporcionado, tales como para volver a poner la planta de energía eólica en cumplimiento con los requisitos.
- 10 En una realización, el método incluye además llevar a cabo un bucle de control basado en errores basándose en la diferencia para obtener la referencia de corriente reactiva.
- 15 En una realización, el método incluye además llevar a cabo iterativamente el método con el fin de reducir la diferencia entre la contribución de corriente reactiva requerida dada de la planta de energía eólica y la cantidad de corriente reactiva que va a proporcionarse por la planta de energía eólica a la red durante el fallo de red.
- 20 En una realización, el método incluye además controlar cada generador de turbina eólica para ajustar un parámetro de funcionamiento en el generador de turbina eólica que mejora la capacidad de inyección de corriente reactiva del generador de turbina eólica.
- En una realización, el parámetro de funcionamiento incluye uno cualquiera de un factor K, un límite CC, un límite IC, un límite U_{LL} , un límite U_{HL} y una $I_{desviación}$.
- 25 En una realización, el método incluye además determinar el parámetro de funcionamiento para su ajuste con una tabla de consulta.
- En una realización, el método incluye además ajustar una capacidad de inyección de corriente activa de uno cualquiera de los generadores de turbina eólica para permitir que el generador de turbina eólica proporcione una mayor capacidad de inyección de corriente reactiva.
- 30 La figura 8 ilustra una planta de energía eólica según una realización. Se proporciona una planta de energía eólica 800. La planta de energía eólica 800 incluye una pluralidad de generadores de turbina eólica 810. La planta de energía eólica 800 incluye también un controlador de planta de energía 820. En una realización, el controlador de planta de energía 820 incluye un módulo de medición 830 configurado para medir una cantidad de corriente reactiva que va a proporcionarse por la planta de energía eólica a la red durante el fallo de red. El controlador de planta de energía 820 incluye además un módulo diferencial 840 configurado para determinar una diferencia entre una contribución de corriente reactiva requerida dada de la planta de energía eólica y la cantidad de corriente reactiva que va a proporcionarse por la planta de energía eólica a la red durante el fallo de red. En una realización, el controlador de planta de energía 820 incluye también un controlador de corriente reactiva 850 configurado para generar una referencia de corriente reactiva basándose en la diferencia, en la que el controlador de planta de energía está dispuesto para controlar la pluralidad de generadores de turbina eólica para generar corriente reactiva adicional según la referencia de corriente reactiva.
- 35 En una realización, el módulo diferencial y el controlador de corriente reactiva forman parte de un bucle de control basado en errores para obtener la referencia de corriente reactiva basándose en la diferencia.
- 40 En una realización, el bucle de control basado en errores es un controlador proporcional-integral.
- En una realización, cada uno de la pluralidad de generadores de turbina eólica incluye un controlador de potencia de turbina eólica configurado para recibir una referencia de corriente reactiva del controlador de corriente reactiva, y ajusta un parámetro de funcionamiento que mejora la capacidad de inyección de corriente reactiva del generador de turbina eólica.
- 45 En una realización, el parámetro de funcionamiento incluye uno cualquiera de un factor K, un límite CC, un límite IC, un límite U_{LL} , un límite U_{HL} y una $I_{desviación}$.
- 50 En una realización, el controlador de potencia de turbina eólica incluye además un módulo de tabla de consulta configurado para determinar el parámetro de funcionamiento para su ajuste con una tabla de consulta.
- En una realización, el controlador de potencia de turbina eólica incluye además un módulo de inyección de corriente activa configurado para ajustar una capacidad inyección de corriente activa para permitir que el generador de turbina eólica proporcione una mayor capacidad de inyección de corriente reactiva.
- 55 En una realización, el controlador de potencia de turbina eólica está configurado para almacenar configuraciones de ajuste correspondientes a cómo se controla el generador de turbina eólica para generar corriente reactiva adicional, y reutilizar las configuraciones almacenadas en un fallo de red posterior.
- 60 Según diversas realizaciones, se proporciona al menos un producto de programa informático que puede cargarse
- 65

directamente en la memoria interna de al menos un ordenador digital proporcionado en una planta de energía eólica, incluyendo partes de código de software para realizar las etapas de un método según una realización de la presente divulgación cuando dicho al menos un producto se ejecuta en dicho al menos un ordenador.

5 En diversas realizaciones, un controlador para llevar a cabo una función de funcionamiento en la planta de energía eólica, que incluye, por ejemplo, pero no se limita a, un controlador de planta, un controlador de planta de energía, un controlador SCADA, un controlador de turbina eólica, un controlador de potencia de turbina eólica o un controlador de corriente reactiva, incluye un ordenador digital configurado para recibir un producto de programa informático. En realizaciones, los ordenadores digitales proporcionados en la planta de energía eólica se sincronizan y funcionan de
10 manera que actúan conjuntamente como parte de un sistema global.

El aparato, método y/o sistema anterior tal como se describe y se ilustra en las figuras correspondientes, no pretende limitar un o ningún aparato, método o sistema según una realización ni el alcance de la presente divulgación. La descripción incluye, además, o bien explícita o bien implícitamente, diversos rasgos y ventajas del método o sistema
15 según la presente divulgación, que pueden abarcarse dentro de un aparato, método o sistema según la divulgación.

REIVINDICACIONES

1. Un método (700) para controlar una inyección de corriente reactiva en una planta de energía eólica (100), que comprende una pluralidad de generadores de turbina eólica (120), durante un fallo de red durante el cual la planta de energía eólica (100) funciona en un modo de respuesta ante fallos, caracterizado porque el método comprende:

5 obtener (710), en un punto de acoplamiento común (146) entre la red (160) y la planta de energía eólica (100), una salida de corriente reactiva (504) de la planta de energía eólica (100) que va a proporcionarse a la red (160) durante el fallo de red;

10 determinar (720) la diferencia entre una contribución de corriente reactiva dada (502) requerida de la planta de energía eólica (100) y la salida de corriente reactiva obtenida desde la planta de energía eólica (100); y

15 controlar (730) la pluralidad de generadores de turbina eólica (120) en la planta de energía eólica (100) para generar corriente reactiva adicional según una referencia de corriente reactiva generada basándose en la diferencia.
2. El método (700) según la reivindicación 1, que comprende además llevar a cabo un bucle de control basado en errores basándose en la diferencia para obtener la referencia de corriente reactiva.
3. El método (700) según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, que comprende, además, llevar a cabo iterativamente el método (700) con el fin de reducir la diferencia entre la contribución de corriente reactiva dada requerida desde la planta de energía eólica (100) y la salida de corriente reactiva de la planta de energía eólica (100) que se proporcionará a la red (160) durante el fallo de red.

25
4. El método (700) según las reivindicaciones anteriores, que comprende controlar cada generador de turbina eólica (121) para ajustar un parámetro de funcionamiento en el generador de turbina eólica (121) que mejora la capacidad de inyección de corriente reactiva del generador de turbina eólica (121), en el que el parámetro de funcionamiento comprende cualquiera de un factor K, un límite CC, un límite IC, un límite U_{LL}, un límite U_{HL} y una I_{desviación}, mediante lo cual: K se refiere a la pendiente de inyección de corriente desde la provisión inicial, CC_LIM se refiere a la corriente máxima que puede proporcionarse para un funcionamiento de soporte de baja tensión de red, límite IC se refiere a la corriente máxima que puede proporcionarse en el funcionamiento de soporte de alta tensión de red, límite U_{LL} se refiere a la tensión de red de desde cuando se inicia la generación de corriente reactiva, límite U_{HL} indica la tensión de red desde cuando puede iniciarse la corriente reactiva, e I_{desviación} se refiere a una desviación de corriente donde se inicia la corriente reactiva.

30

35
5. El método (700) según la reivindicación 4, en el que el método comprende determinar el parámetro de funcionamiento para el ajuste con una tabla de consulta.

40
6. El método (700) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además, ajustar una capacidad de inyección de corriente activa de cualquiera de la pluralidad de generadores de turbina eólica (120) para permitir que el generador de turbina eólica (121) proporcione una mayor capacidad de inyección de corriente reactiva.

45
7. El método (700) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, además, almacenar en cada generador de turbina eólica (121) configuraciones de ajuste relativas a cómo se controla el generador de turbina eólica (121) para generar corriente reactiva adicional, y reutilizar las configuraciones almacenadas en un fallo de red posterior.

50
8. Una planta de energía eólica (800), que comprende:

una pluralidad de generadores de turbina eólica (810); y

55 un controlador de planta de energía (820), caracterizado porque el controlador de planta de energía comprende:

60 un módulo de medición (830) configurado para obtener, en un punto de acoplamiento común (146) entre la red (160) y la planta de energía eólica (800), una salida de corriente reactiva (504) de la planta de energía eólica (800) que va a proporcionarse a la red (160) durante el fallo de red;

un módulo diferencial (840) configurado para determinar la diferencia entre una contribución de corriente reactiva dada (502) requerida desde la planta de energía eólica (800) y la salida de corriente reactiva obtenida (504) de la planta de energía eólica (800); y

65 un controlador de corriente reactiva (850) configurado para generar una referencia de corriente reactiva

basándose en la diferencia, en la que el controlador de planta de energía (820) está dispuesto para controlar la pluralidad de generadores de turbina eólica (810) para funcionar en un modo de respuesta ante fallos y generar corriente reactiva adicional según la referencia de corriente reactiva.

- 5 9. La planta de energía eólica (800) según la reivindicación 8, en la que el módulo diferencial (506) y el controlador de corriente reactiva (850) forman parte de un bucle de control basado en errores para obtener la referencia de corriente reactiva basándose en la diferencia.
- 10 10. La planta de energía eólica (800) según la reivindicación 9, en la que el bucle de control basado en errores es un controlador proporcional-integral.
- 15 11. La planta de energía eólica (800) según la reivindicación 8, en la que cada uno de la pluralidad de generadores de turbina eólica (810) comprende un controlador de potencia de turbina eólica (124) configurado para recibir una referencia de corriente reactiva del controlador de corriente reactiva (850), y ajustar un parámetro de funcionamiento que mejora la capacidad de inyección de corriente reactiva del generador de turbina eólica (810) en el que el parámetro de funcionamiento comprende cualquiera de un factor K, un límite CC, un límite IC, un límite U_{LL} , un límite U_{HL} y una $I_{desviación}$, mediante lo cual K se refiere a la pendiente de inyección de corriente desde la provisión inicial, límite CC se refiere a la corriente máxima que puede proporcionarse para un funcionamiento de soporte de baja tensión de red, límite IC se refiere a la corriente máxima que puede proporcionarse en el funcionamiento de soporte de alta tensión de red, límite U_{LL} se refiere a la tensión de red desde cuando se inicia la generación de corriente reactiva, límite U_{HL} indica la tensión de red desde cuando se inicia la inyección de corriente reactiva, e $I_{desviación}$ se refiere a una desviación de corriente en la que se inicia la generación de corriente reactiva.
- 20 12. La planta de energía eólica (800) según la reivindicación 11, en la que el controlador de potencia de turbina eólica (124) comprende un módulo de tabla de consulta configurado para determinar el parámetro de funcionamiento para su ajuste con una tabla de consulta.
- 25 13. La planta de energía eólica (800) según cualquiera de las reivindicaciones 11 o 12, comprendiendo además el controlador de potencia de turbina eólica (124) un módulo de inyección de corriente activa configurado para ajustar una capacidad de inyección de corriente activa para permitir que el generador de turbina eólica (810) proporcione una mayor capacidad de inyección de corriente reactiva.
- 30 14. La planta de energía eólica (800) según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, en la que el controlador de potencia de turbina eólica está configurado para almacenar configuraciones de ajuste relativas a cómo se controla el generador de turbina eólica para generar corriente reactiva adicional, y reutilizar las configuraciones almacenadas en un fallo de red posterior.
- 35

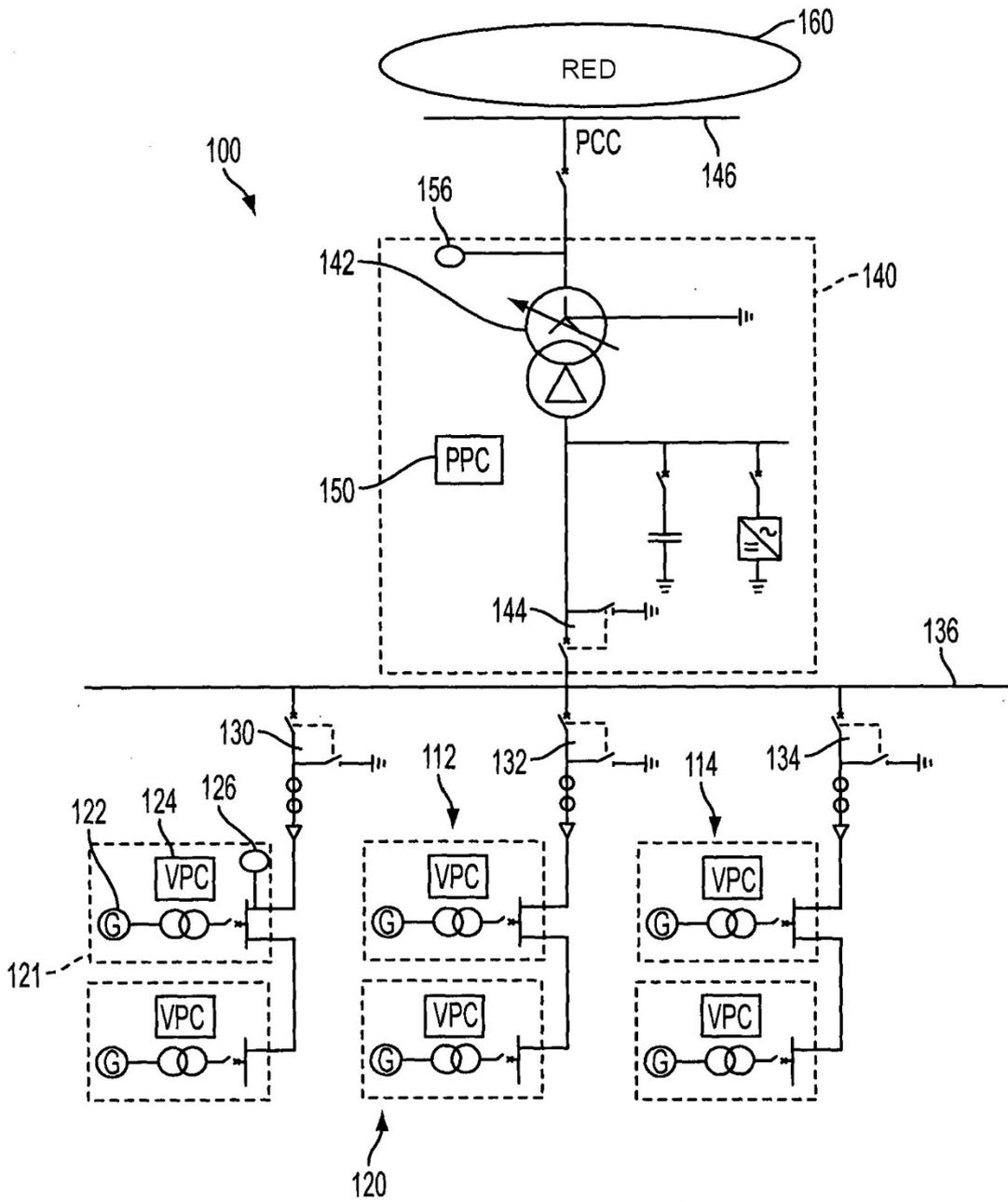


FIG. 1

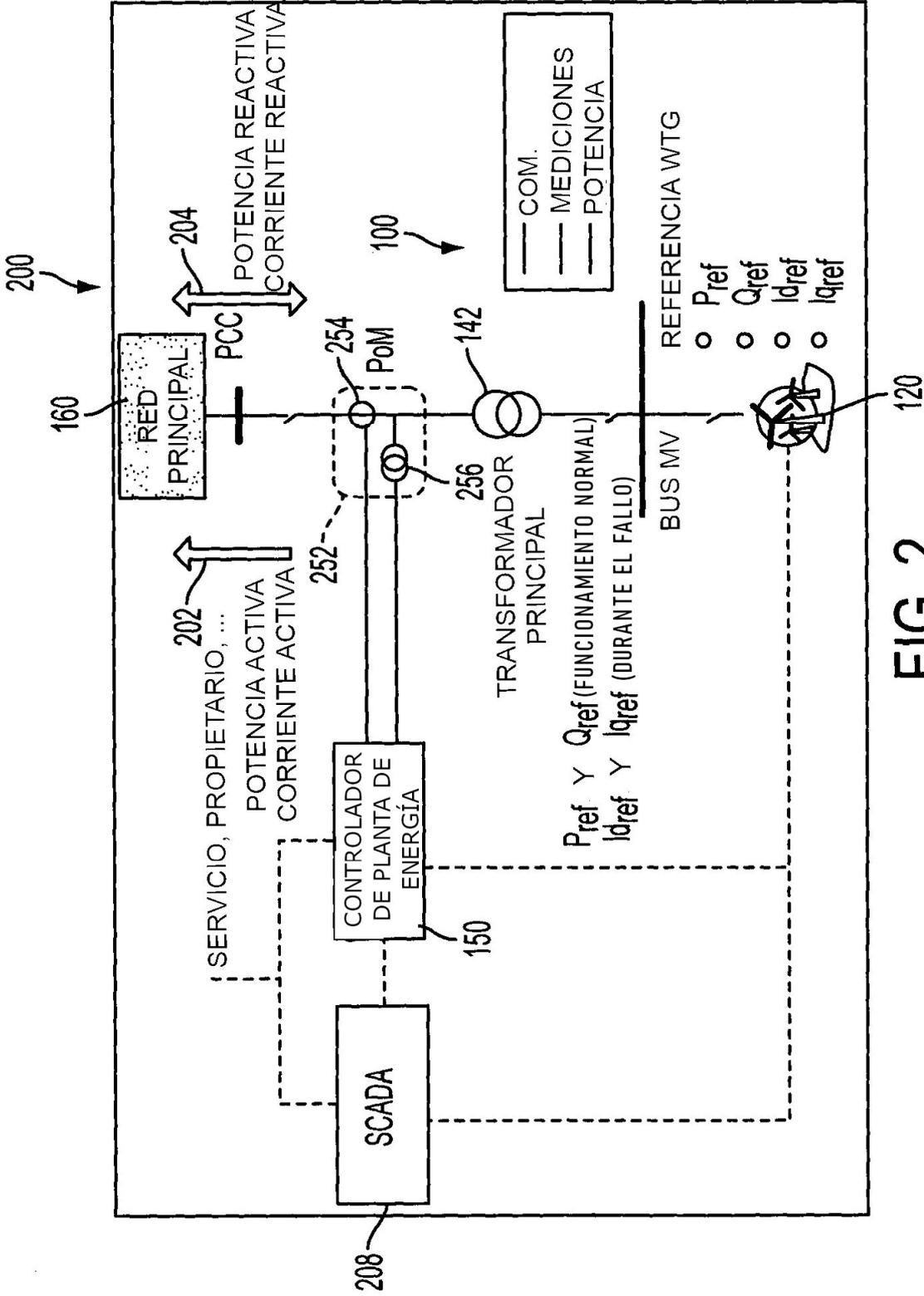


FIG. 2

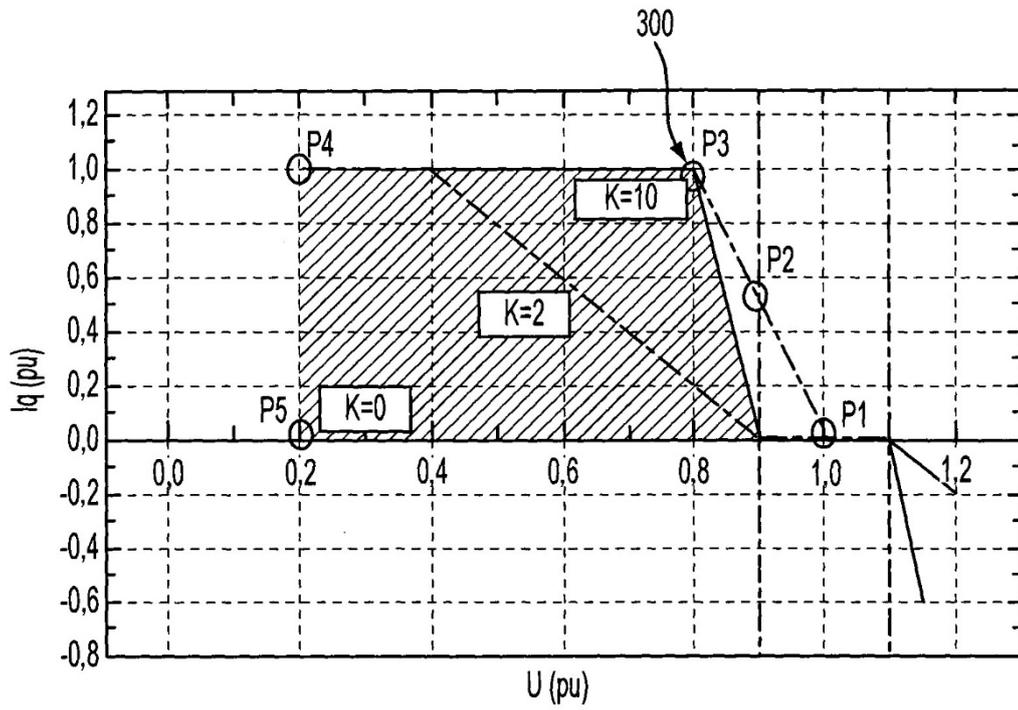


FIG. 3

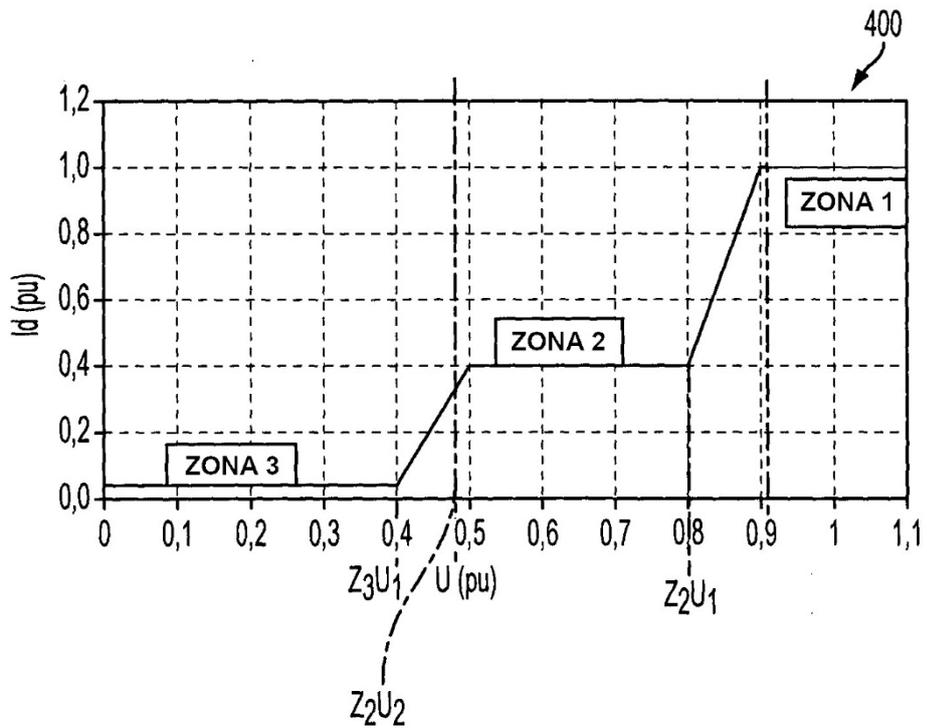


FIG. 4

ESQUEMA DE CONTROL DE CORRIENTE REACTIVA

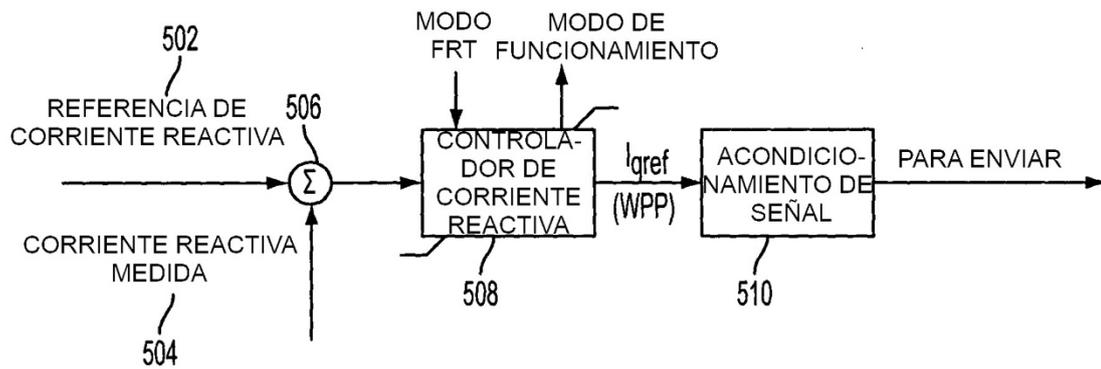


FIG. 5

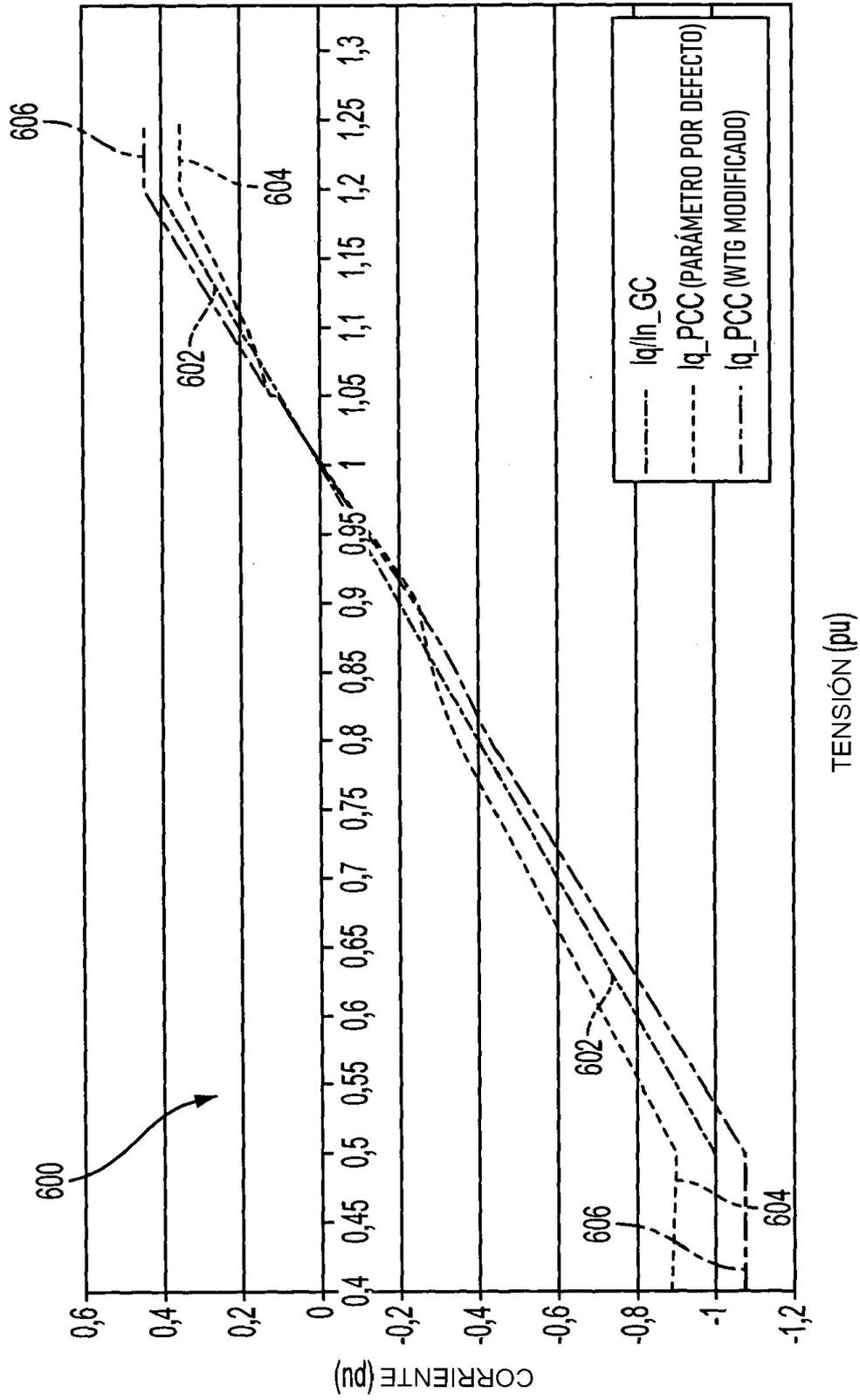


FIG. 6

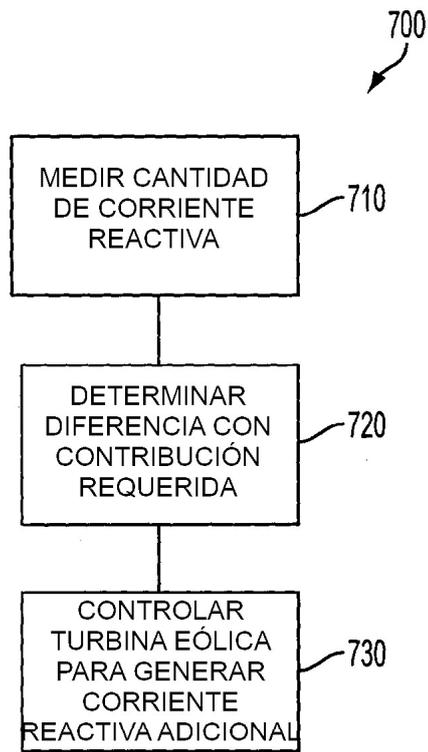


FIG. 7

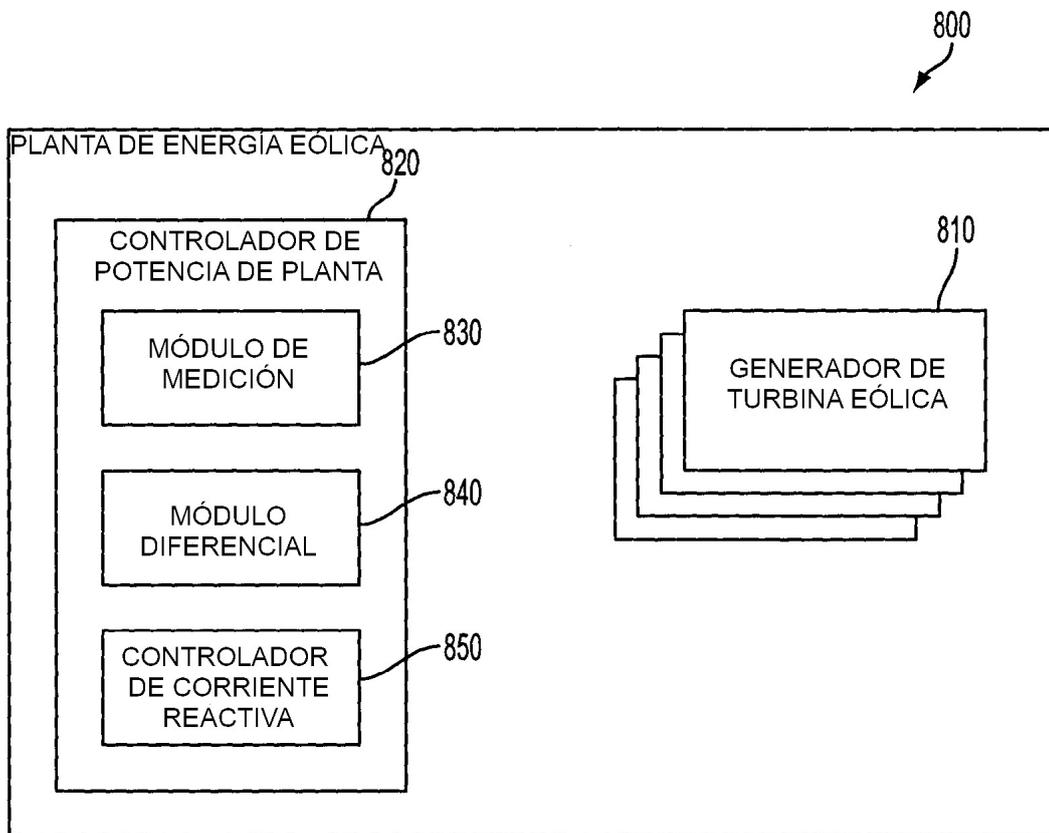


FIG. 8