

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 765 633**

51 Int. Cl.:

H02J 3/18 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.02.2016 E 16154736 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2019 EP 3059830**

54 Título: **Compensación de potencia reactiva en base a la capacidad de potencia reactiva de un sistema de energía renovable**

30 Prioridad:

18.02.2015 US 201514624906

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

10.06.2020

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**UBBEN, ENNO;
BARTON, WERNER GERHARD;
JUNGE, CARSTEN y
SMOLENSKI, ARNIM**

74 Agente/Representante:

CONTRERAS PÉREZ, Yahel

ES 2 765 633 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

Compensación de potencia reactiva en base a la capacidad de potencia reactiva de un sistema de energía renovable

5 Descripción

La presente descripción se refiere, en general, a fuentes de energía renovables y, más particularmente, a sistemas y procedimientos para determinar la capacidad de potencia reactiva de sistemas de energía renovable, tales como parques eólicos, parques solares.

10 Los sistemas de energía renovable, tales como los sistemas de aerogeneradores, sistemas de energía solar, sistemas de almacenamiento de energía, etc., se han utilizado cada vez más para la generación de energía en todo el mundo. Los sistemas de energía renovable pueden incluir una planta o parque que tiene una pluralidad de unidades de generación de energía (por ejemplo, aerogeneradores) que están conectadas colectivamente a una red de suministro en un punto de interconexión. El sistema de energía renovable puede incluir un sistema de control que tenga un(os) controlador(es) a nivel de parque y un(os) controlador(es) a nivel de unidad para ajustar la salida de potencia real y reactiva del sistema de energía renovable.

15 Puede requerirse que un parque de energía renovable cumpla con una capacidad de potencia reactiva en el punto de interconexión para proporcionar un factor de potencia deseado (por ejemplo, en base a una configuración de factor de potencia). En algunos casos, puede requerirse que los sistemas de energía renovable tengan la capacidad de proporcionar una capacidad de potencia reactiva nominal en un rango de tensión de $\pm 10\%$ de la tensión nominal en el punto de interconexión. Para cumplir con este requisito, puede requerirse un transformador de conmutación de reglaje en carga. La inclusión de un transformador de conmutación de reglaje en carga en cada unidad de generación de energía (por ejemplo, cada aerogenerador) puede resultar costosa. Como alternativa, puede proporcionarse capacidad de potencia reactiva ajustando la producción de energía activa del parque de energía renovable a ciertos niveles de tensión (por ejemplo, niveles de tensión fuera del $\pm 5\%$ de la banda de tensión nominal). Sin embargo, esto puede requerir el conocimiento de los límites reales de potencia reactiva del parque de energía renovable.

20 El límite de potencia reactiva de un parque de energía renovable generalmente se determina sumando los límites de potencia reactiva de unidades de generación de energía individuales en el parque. El límite de potencia reactiva de una unidad de generación de energía individual se define típicamente como potencia reactiva nominal para la unidad y no varía en función del comportamiento del sistema. En situaciones en las que unidades de generación de energía individuales están sometidas a unos límites de tensión, las unidades de generación de energía individuales pueden no ser capaces de proporcionar potencia reactiva nominal, por lo que la potencia reactiva nominal no es una buena estimación del límite real de potencia reactiva de la unidad de generación de potencia. Véase, por ejemplo, WO 2104/071948 A1, WO 2014/040601 A2, US 2010/025994 A1, US 2008/150283 o EP 2704282 A2. Por lo tanto, existe la necesidad de determinar unos límites reales de potencia reactiva de un parque de energía renovable bajo diversas condiciones del sistema. Sería particularmente útil un sistema y un procedimiento que puedan reducir la producción de energía activa en función de la capacidad de potencia reactiva real para cumplir con un requisito de factor de potencia.

25 En la siguiente descripción se expondrán en parte diversos aspectos y ventajas de realizaciones de la presente descripción, o pueden derivarse a partir de la descripción, o pueden derivarse al poner en práctica las realizaciones.

La presente invención se define por las reivindicaciones adjuntas.

30 Diversas características, aspectos y ventajas de diversas realizaciones se entenderán mejor con referencia a la siguiente descripción y las reivindicaciones adjuntas. Los dibujos que se acompañan, que se incorporan y forman parte de esta memoria, ilustran unas realizaciones de la presente descripción y, junto con la descripción, sirven para explicar la invención.

35 En la memoria se da una descripción detallada de realizaciones dirigidas a un experto en la materia, la cual hace referencia a las figuras adjuntas, en las cuales:

La figura 1 ilustra un aerogenerador de ejemplo que puede controlarse de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente descripción;

40 La figura 2 representa un controlador de ejemplo de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente descripción;

La figura 3 representa un parque eólico de ejemplo de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente descripción;

5 La figura 4 representa un ejemplo de topología de control para un parque eólico de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente descripción;

La figura 5 representa un ejemplo de topología de control para determinar un límite de potencia reactiva máxima corregida de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente descripción;

10 La figura 6 representa un ejemplo de topología de control para determinar un límite de potencia reactiva mínima corregido de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente descripción;

La figura 7 representa una representación gráfica de un comportamiento de ejemplo de un sistema de control de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente descripción; y

15 La figura 8 representa un diagrama de flujo de un procedimiento de ejemplo para controlar un parque eólico de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente descripción.

20 Se hará referencia ahora en detalle a realizaciones de la invención, uno o más ejemplos de las cuales se ilustran en los dibujos.

Los aspectos de ejemplo de la presente descripción van dirigidos a sistemas y procedimientos para determinar la capacidad de potencia reactiva para sistemas de energía renovable para proporcionar límites de potencia reactiva corregidos en el control de salida de potencia reactiva. Un sistema de energía renovable puede incluir un sistema de control a nivel de parque o de planta para ajustar tensión, potencia reactiva, y/o factor de potencia a nivel del sistema de energía renovable. Por ejemplo, el sistema de control a nivel de parque puede incluir un regulador de tensión de bucle interno con un regulador de potencia reactiva de bucle externo/factor de potencia. El regulador de tensión puede calcular comandos de potencia reactiva en base a, por lo menos parcialmente, los límites de potencia reactiva del sistema de energía renovable. Los comandos de potencia reactiva pueden distribuirse a unidades de generación de potencia individuales (por ejemplo, utilizando un algoritmo de distribución proporcional).

En las unidades de generación de energía individuales, un controlador puede incluir un regulador de tensión de bucle interno que puede determinar, por ejemplo, comandos para controlar la unidad de generación de energía individual. La entrada al regulador de tensión puede incluir un regulador de potencia reactiva que regule la potencia reactiva de la unidad de generación de potencia en función del comando de potencia reactiva distribuido a la unidad de generación de potencia individual. El regulador de potencia reactiva puede proporcionar una referencia de tensión al regulador de tensión del bucle interno. La referencia puede restringirse a los límites de tensión de la unidad de generación de energía (por ejemplo, $\pm 10\%$ de la tensión nominal de la unidad de generación de energía).

El (los) controlador(es) asociado(s) a las unidades de generación de energía individuales pueden proporcionar datos de retroalimentación al sistema de control a nivel de parque. La retroalimentación puede incluir señales indicativas de la salida de potencia reactiva real por la unidad de generación de potencia individual, el límite de potencia reactiva mínima para la unidad de generación de potencia y el límite de potencia máxima para la unidad de generación de potencia. Estas señales de retroalimentación pueden agregarse para generar una señal de agregación a nivel de parque o planta para la salida de potencia reactiva real, límite de potencia reactiva mínima, y límite de potencia reactiva máxima. El límite de potencia reactiva máxima agregada y el límite de potencia reactiva mínima pueden utilizarse para restringir comandos de potencia reactiva generados por el sistema de control a nivel de parque.

De acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente descripción, un límite de potencia reactiva determinado para el sistema de energía renovable puede ajustarse a partir de un límite de potencia reactiva inicial (por ejemplo, en base a la potencia reactiva nominal) para reflejar la capacidad de potencia reactiva real del sistema de energía renovable en base a condiciones de funcionamiento actuales. Más particularmente, en el caso de que una diferencia entre una demanda de potencia reactiva y la producción de potencia reactiva real exceda un umbral (por ejemplo, más de un 5% de la potencia reactiva nominal), el sistema de control puede ajustar los límites de potencia reactiva hacia la producción de potencia reactiva real del sistema de energía renovable. El sistema de energía renovable puede controlarse entonces de acuerdo con los límites de potencia reactiva corregidos, por ejemplo, restringiendo el comando de potencia reactiva para que se encuentre más cerca para acercarse más a la capacidad de potencia reactiva real del sistema de energía renovable.

Los límites de potencia reactiva corregidos pueden ajustarse dinámicamente durante el funcionamiento en base a la magnitud de la diferencia entre la demanda de potencia reactiva y la producción real de potencia reactiva. Una vez que la diferencia entre el comando de potencia reactiva y la producción real de potencia reactiva vuelve a

encontrarse dentro de un umbral y/o la tensión del sistema de energía renovable es capaz de seguir una referencia de tensión generada desde el regulador de potencia reactiva en el sistema de control a nivel de parque, los límites de potencia reactiva pueden ajustarse nuevamente a sus valores iniciales.

5 El ajuste de los límites de potencia reactiva de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente descripción puede permitir un mejor control del sistema de energía renovable para satisfacer las demandas de potencia reactiva. Por ejemplo, un sistema de energía renovable puede controlarse en base por lo menos parcialmente a los límites de potencia reactiva corregidos para proporcionar una capacidad de potencia reactiva nominal en un rango de tensión de $\pm 10\%$ de la tensión nominal en el punto de interconexión. Más particularmente, los límites de potencia reactiva
10 corregidos pueden utilizarse para reducir la producción de energía activa del sistema de energía renovable a ciertos niveles de tensión (por ejemplo, niveles de tensión fuera del $\pm 5\%$ de la banda de tensión nominal) para satisfacer una demanda de factor de potencia. De esta manera, la potencia reactiva nominal puede proporcionarse en varias condiciones de red sin que se requiera, por ejemplo, un transformador de cambio de tomas bajo carga.

15 Haciendo referencia ahora a los dibujos, se describirán en detalle unas realizaciones de ejemplo de la presente descripción. Se explicarán unos aspectos de la presente descripción con referencia a sistemas de energía renovable eólica con fines de ilustración y descripción. Los expertos en la materia, utilizando las explicaciones que se dan aquí, comprenderán que pueden implementarse aspectos de ejemplo de la presente descripción en otros sistemas de generación de energía, tales como parques solares, sistemas de almacenamiento de energía, etc.

20 La figura 1 ilustra una vista en perspectiva de una realización de un aerogenerador 10. Tal como se muestra, el aerogenerador 10 generalmente incluye una torre 12 que se extiende desde una superficie de soporte 14, una góndola 16 montada en la torre 12 y un rotor 18 acoplado a la góndola 16. El rotor 18 incluye un buje giratorio 20 y por lo menos una pala de rotor 22 acoplada al buje 20 y que se extiende hacia afuera desde el mismo. Por ejemplo,
25 en la realización ilustrada, el rotor 18 incluye tres palas de rotor 22. Sin embargo, en una realización alternativa, el rotor 18 puede incluir más o menos de tres palas de rotor 22. Cada pala de rotor 22 puede estar separada alrededor del buje 20 para facilitar el giro del rotor 18 para permitir que la energía cinética se transfiera del viento a energía mecánica utilizable, y posteriormente, energía eléctrica. Por ejemplo, el buje 20 puede estar acoplado de manera giratoria a un generador eléctrico (no mostrado) situado en el interior de la góndola 16 para permitir que se produzca
30 energía eléctrica.

El aerogenerador 10 también puede incluir un controlador de aerogenerador 26 centralizado en el interior de la góndola 16. Sin embargo, en otras realizaciones, el controlador 26 puede estar situado en el interior de cualquier otro componente del aerogenerador 10 o en una posición fuera del aerogenerador. Además, el controlador 26 puede
35 estar conectado de manera comunicativa a cualquier número de componentes del aerogenerador 10 para controlar el funcionamiento de dichos componentes y/o implementar una acción de control. Como tal, el controlador 26 puede incluir un ordenador u otra unidad de procesamiento adecuada. Por lo tanto, en varias realizaciones, el controlador 26 puede incluir instrucciones adecuadas legibles por ordenador que, cuando se implementan, configuran el controlador 26 para realizar diversas funciones diferentes, tales como recibir, transmitir y/o ejecutar señales de
40 control de aerogeneradores.

Haciendo referencia ahora a la figura 2, se ilustra un diagrama de bloques de una realización de componentes adecuados que pueden incluirse en el controlador 26 de acuerdo con aspectos de la presente descripción. Tal como se muestra, el controlador 26 puede incluir uno o más procesadores 58 y unos dispositivos de memoria asociados
45 60 configurados para realizar una variedad de funciones implementadas por ordenador (por ejemplo, realizar los procedimientos, etapas, cálculos y similares descritos aquí). Tal como se utiliza aquí, el término "procesador" se refiere no sólo a circuitos integrados a los que se hace referencia en la técnica como incluidos en un ordenador, sino también se refiere a un controlador, un microcontrolador, un microordenador, un controlador lógico programable (PLC), un circuito integrado específico de aplicación, procesadores específicos de aplicación, procesadores de señal digital (DSP), circuitos integrados específicos de aplicación (ASIC), matrices de puertas programables en campo (FPGA) y/o cualquier otro circuito programable. Además, el (los) dispositivo(s) de memoria 60 puede(n) incluir generalmente elementos de memoria incluyendo un medio legible por ordenador (por ejemplo, memoria de acceso aleatorio (RAM)), un medio no volátil legible por ordenador (por ejemplo, una memoria flash), una o más unidades de disco duro, un disquete, un disco compacto de sólo lectura (CD-ROM), unidades de disco compacto de
50 lectura/escritura (CD-R/W), un disco magneto-óptico (MOD), un disco DVD, unidades flash, unidades ópticas, dispositivos de almacenamiento de estado sólido, y/u otros elementos de memoria adecuados, pero sin limitarse a éstos.

Además, el controlador 26 también puede incluir un módulo de comunicaciones 62 para facilitar las comunicaciones
60 entre el controlador 26 y los distintos componentes del aerogenerador 10. Por ejemplo, el módulo de comunicaciones 62 puede incluir una interfaz de sensor 64 (por ejemplo, uno o más convertidores analógico a digital) para permitir que las señales transmitidas por uno o más sensores 65, 66, 67 sean convertidas en señales que puedan ser entendidas y procesadas por el controlador 26. Además, debe tenerse en cuenta que los sensores

65, 66, 67 pueden conectarse de manera comunicativa al módulo de comunicaciones 62 utilizando cualquier medio adecuado. Por ejemplo, tal como se muestra en la figura 2, los sensores 65, 66, 67 están conectados a la interfaz del sensor 64 a través de una conexión por cable. Sin embargo, en realizaciones alternativas, los sensores 65, 66, 67 pueden estar conectados a la interfaz del sensor 64 a través de una conexión inalámbrica, tal como mediante el uso de cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica. Por ejemplo, el módulo de comunicaciones 62 puede incluir Internet, una red de área local (LAN), redes de área local inalámbricas (WLAN), redes de área extendida (WAN) tales como redes de interoperabilidad mundial para acceso por microondas (WiMax), redes satelitales, redes móviles, redes de sensores, redes *ad hoc* y/o redes de corto alcance. Como tal, el procesador 58 puede estar configurado para recibir una o más señales de los sensores 65, 66, 67.

Los sensores 65, 66, 67 pueden ser sensores adecuados configurados para medir cualquier punto de datos de funcionamiento del aerogenerador 10 y/o parámetros de viento del parque eólico. Debe entenderse también que puede emplearse cualquier otro número o tipo de sensores y en cualquier ubicación. Por ejemplo, los sensores pueden ser acelerómetros, sensores de presión, extensímetros, sensores de ángulo de ataque, sensores de vibración, sensores MIMU, sistemas de cámaras, sistemas de fibra óptica, anemómetros, veletas, sensores de detección y distribución sónica (SODAR), láseres de infrarrojos, sensores de detección por luz y distancia (LIDAR), radiómetros, tubos pitot, radiosondeos, otros sensores ópticos, y/o cualquier otro sensor adecuado. Debe apreciarse que, tal como se utiliza aquí, el término "controlar" y sus variaciones indican que los distintos sensores del aerogenerador 10 pueden configurarse para proporcionar una medición directa de los parámetros que se están controlando o una medición indirecta de dichos parámetros. Por lo tanto, los sensores 65, 66, 67 pueden utilizarse, por ejemplo, para generar señales relacionadas con el parámetro que se está monitorizando, que lo puede utilizar después el controlador 26 para determinar el estado real.

Haciendo referencia ahora a la figura 3, se ilustra un parque eólico 200 que se controla de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente descripción. Tal como se muestra, el parque eólico 200 puede incluir una pluralidad de aerogeneradores 202, que incluyen el aerogenerador 10 descrito anteriormente, y un controlador de parque 222. Por ejemplo, tal como se muestra en la realización ilustrada, el parque eólico 200 incluye doce aerogeneradores, que incluyen el aerogenerador 10. Sin embargo, en otras realizaciones, el parque eólico 200 puede incluir cualquier otro número de aerogeneradores, tales como menos de doce aerogeneradores o más de doce aerogeneradores. En una realización, el controlador 26 del aerogenerador 10 puede estar conectado de manera comunicativa al controlador del parque 222 a través de una conexión por cable, tal como conectando el controlador 26 a través de enlaces de comunicación adecuados 226 (por ejemplo, un cable adecuado). Alternativamente, el controlador 26 puede estar conectado de manera comunicativa al controlador del parque 222 a través de una conexión inalámbrica, tal como mediante el uso de cualquier protocolo de comunicaciones inalámbricas adecuado conocido en la técnica. Además, el controlador del parque 222 puede configurarse generalmente de manera similar a los controladores 26 para cada uno de los aerogeneradores individuales 202 del parque eólico 200.

La figura 4 representa un ejemplo de topología de control para controlar un parque eólico de acuerdo con unas realizaciones de ejemplo de la presente descripción. La topología de control puede implementarse utilizando uno o más dispositivos de control, tales como el controlador del parque 222 y varios controladores individuales 26 asociados a los aerogeneradores individuales del parque 200 mostrado en la figura 3.

Tal como se muestra en la figura 4, uno o más dispositivos de control pueden implementar un regulador de tensión de bucle interno 310 para el parque eólico y un regulador de factor de potencia de bucle externo/potencia reactiva 320 para el parque eólico. El regulador de tensión 310 puede recibir un comando V_{REF} determinado desde un punto de ajuste de tensión y/o una salida 322 del regulador de potencia reactiva 320.

El regulador de potencia reactiva 320 puede generar una salida 322 en base a un error entre un comando Q_{REF} restringido y una señal Q_{ACT} indicativa de la salida de potencia reactiva real del parque eólico. El comando Q_{REF} puede restringirse en base a un límite superior de potencia reactiva 324 para el parque eólico y un límite inferior de potencia reactiva para el parque eólico 326. El comando Q_{REF} puede determinarse a partir de un punto de ajuste de potencia reactiva (VAR) y/o un punto de ajuste del factor de potencia. Por ejemplo, el comando Q_{REF} puede determinarse como $\tan(\text{pf}) * P$ donde pf es el punto de ajuste del factor de potencia y P es la potencia de salida medida P_{meas} del parque eólico.

El regulador de tensión 310 puede recibir V_{REF} después de haber sido restringido por una tensión máxima 312 para el parque eólico y una tensión mínima 324 para el parque eólico. El regulador de tensión 310 genera un comando de potencia reactiva 315 en base a la señal V_{REF} . El comando de potencia reactiva 315 puede restringirse mediante un limitador en base a un límite de potencia reactiva máxima 330 y un límite de potencia reactiva mínima 340 para generar un comando de potencia reactiva restringida Q_{CMD} . Tal como se describirá con más detalle a continuación, el límite de potencia reactiva máxima 330 y el límite de potencia reactiva mínima 340 pueden ajustarse desde un valor inicial (por ejemplo, en base a la potencia reactiva nominal) a un valor corregido que refleje con mayor precisión la capacidad potencia reactiva del parque eólico en diferentes circunstancias operativas.

El comando de potencia reactiva Q_{REF} restringida puede distribuirse a un(os) controlador(es) asociado(s) a aerogeneradores individuales de acuerdo con un algoritmo de distribución proporcional 350. Por ejemplo, el comando de potencia reactiva Q_{REF} restringida puede distribuirse a un(os) controlador(es) 360.1, 360.2 ... 360.n asociados a los controladores de aerogeneradores individuales. Tal como se muestra, el comando de potencia reactiva para cada aerogenerador puede restringirse en base a un límite de potencia reactiva máxima 362 para el aerogenerador y un límite de potencia reactiva mínima 364 para el aerogenerador. El límite de potencia reactiva máxima 362 y el límite de potencia reactiva mínima 364 pueden determinarse en función de la potencia reactiva nominal para el aerogenerador. El comando de potencia reactiva restringida para el aerogenerador puede compararse con una señal indicativa de la producción real de potencia reactiva 365 para que el aerogenerador genere una señal de error. La señal de error puede enviarse a un regulador de potencia reactiva que puede generar un comando de tensión en base a la señal de error. El comando de tensión puede compararse con una señal 367 indicativa de la tensión real en el aerogenerador para generar una señal de error para un regulador 368 que genera un comando de corriente imaginaria para la turbina.

Tal como se muestra en la figura 4, el (los) controlador(es) 360.1, 360.2, ... 360.n pueden proporcionar varias señales de retroalimentación para ser utilizadas por el sistema de control. Por ejemplo, el (los) controlador(es) 360.1, 360.2, ... 360.n pueden proporcionar una señal indicativa del límite de potencia reactiva máxima 362, el límite de potencia reactiva mínima 364, y la producción real de potencia reactiva 365, para cada uno de los aerogeneradores. Las señales 365 indicativas de la producción real de potencia reactiva pueden agregarse en 370 para generar una señal 325 indicativa de la producción real de energía para el parque eólico. Las señales 362 indicativas del límite de potencia reactiva máxima para cada aerogenerador pueden agregarse en 372 para generar la señal 330 indicativa del límite de potencia reactiva máxima para el parque eólico. Las señales 364 indicativas del límite de potencia reactiva mínima para cada aerogenerador pueden agregarse en 374 para generar la señal 340 indicativa del límite de potencia reactiva mínima para el parque eólico.

Tal como se muestra, las señales 330 y 340 se utilizan para restringir el comando de potencia reactiva 315 enviado por el regulador de tensión 310 para generar un comando de potencia reactiva Q_{CMD} . De acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente descripción, las señales 330 y 340 pueden ajustarse desde valores iniciales hasta valores corregidos durante determinadas condiciones de funcionamiento. Por ejemplo, si una diferencia entre el comando de potencia reactiva y la producción real de potencia reactiva del parque cae fuera de un umbral (por ejemplo, mayor o menor que un 5% de la potencia reactiva nominal en relación con la demanda de potencia reactiva), el límite de potencia reactiva máxima 330 y el límite de potencia reactiva mínima 340 pueden ajustarse hacia la producción real de potencia reactiva del parque hasta que la diferencia vuelva a encontrarse dentro del umbral.

La figura 5 representa un esquema de control para un módulo de corrección de límite de potencia reactiva de ejemplo implementado por uno o más dispositivos de control para ajustar el límite de potencia reactiva máxima 330 de acuerdo con realizaciones de ejemplo de la presente descripción. Tal como se muestra, puede generarse una señal de umbral 404 en base a un porcentaje de la potencia reactiva nominal 402 para el parque eólico. En el ejemplo de la figura 5, la señal de umbral 404 es representativa de un 5% de la potencia reactiva nominal 402. Pueden utilizarse otros porcentajes adecuados de potencia reactiva nominal sin apartarse del alcance de la presente descripción. En 406, puede determinarse una diferencia entre el comando de potencia reactiva Q_{CMD} , la producción de potencia reactiva real 325, y la señal de umbral 402 para generar una señal de diferencia 408.

En 410 puede determinarse una relación entre la señal de diferencia 408 y la potencia reactiva nominal 402 y puede enviarse al módulo de factor de corrección 412. El módulo de factor de corrección 412 puede determinar un factor de corrección 430 para el límite de potencia reactiva máxima 330 en base a la relación entre la señal de diferencia 408 y la potencia reactiva nominal 402. Por ejemplo, en realizaciones particulares, cuanto mayor es la señal de diferencia 408 respecto a la potencia reactiva nominal 402, mayor es el factor de corrección 430.

El factor de corrección 430 puede utilizarse para ajustar el límite de potencia reactiva máxima 330 hacia la capacidad de potencia reactiva real del parque eólico. Por ejemplo, el límite de potencia reactiva máxima 330, el factor de corrección 430 y la producción real de potencia reactiva 325 pueden enviarse a un módulo estimador 335. El módulo estimador 335 puede ajustar el límite de potencia reactiva máxima 330 hacia la producción real de potencia reactiva 325 en base al factor de corrección 430 para generar un límite de potencia reactiva ajustado 330'. Por ejemplo, a medida que aumenta el factor de corrección 430, el límite de potencia reactiva máxima ajustada 330' puede ajustarse más cerca de la producción de potencia reactiva real 325. A medida que disminuye el factor de corrección 430, el límite de potencia reactiva máxima ajustada 330' puede ajustarse más cerca del límite de potencia reactiva máxima inicial 330.

La figura 6 representa un esquema de control para un módulo de corrección de límite de potencia reactiva de ejemplo implementado por uno o más dispositivos de control para ajustar el límite de potencia reactiva mínima 330 de acuerdo con unas realizaciones de ejemplo de la presente descripción. Tal como se muestra, puede generarse

una señal de umbral 402 en base a un porcentaje de la potencia reactiva nominal 402 para el parque eólico. En el ejemplo de la figura 6, la señal de umbral 402 es representativa de un 5% de la potencia reactiva nominal 402. En 406, puede determinarse una diferencia entre el comando de potencia reactiva Q_{CMD} , la producción de potencia reactiva real 325, y la señal de umbral 402 para generar la señal de diferencia 408.

En 410 puede determinarse una relación entre la señal de diferencia 408 y la potencia reactiva nominal 402 y puede enviarse al módulo de factor de corrección 422. El módulo de factor de corrección 422 puede determinar un factor de corrección 430 para el límite de potencia reactiva mínima 340 en base a la relación entre la señal de diferencia 408 y la potencia reactiva nominal 402. Por ejemplo, en realizaciones particulares, cuanto mayor es la señal de diferencia 408 respecto a la potencia reactiva nominal 402, mayor es el factor de corrección 440.

El factor de corrección 440 puede utilizarse para ajustar el límite de potencia reactiva mínima 340 hacia la capacidad de potencia reactiva real del parque eólico. Por ejemplo, el límite de potencia reactiva mínima 340, el factor de corrección 440 y la producción real de potencia reactiva 325 pueden enviarse a un módulo estimador 345. El módulo estimador 345 puede ajustar el límite de potencia reactiva mínima 340 hacia la producción real de potencia reactiva 325 en base al factor de corrección 440 para generar un límite de potencia reactiva ajustado 340'. Por ejemplo, a medida que aumenta el factor de corrección 440, el límite máximo ajustado de potencia reactiva 340' puede ajustarse más cerca de la producción real de potencia reactiva 325. A medida que disminuye el factor de corrección 440, el límite máximo ajustado de potencia reactiva 340' puede ajustarse más cerca del límite de potencia reactiva máxima inicial 330.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 4, el límite de potencia reactiva máxima ajustada 330' y el límite de potencia reactiva mínima ajustada 340' pueden ser utilizados por un limitador para restringir la salida 315 del regulador de tensión 310 para generar un nuevo comando de potencia reactiva Q_{CMD} que siga más de cerca la capacidad de potencia reactiva real del parque eólico.

La figura 7 representa una representación gráfica del comportamiento de ejemplo de un sistema de control en base a la reducción de la capacidad de potencia reactiva real debido a una restricción de tensión en los aerogeneradores individuales. La figura 7 representa el tiempo a lo largo del eje horizontal y la magnitud de la potencia reactiva a lo largo del eje vertical. La señal 500 representa la reducción de la capacidad de potencia reactiva real con el tiempo para un parque eólico debido a una restricción de tensión en los aerogeneradores individuales. Más particularmente, en el instante t_{30} , la capacidad de potencia reactiva real se reduce a aproximadamente 7000 kvar. El punto de ajuste de potencia reactiva para el parque $Q_{SETPOINT}$ permanece en 8000 kvar. Tal como se muestra, Q_{CMD} comienza a aumentar para intentar obtener la producción de potencia reactiva especificada por $Q_{SETPOINT}$. De acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente descripción, el sistema de control genera un factor de corrección para reducir la señal 330 indicativa del límite de potencia reactiva máxima a un límite de potencia reactiva máxima ajustada 330' representativo de la capacidad de potencia reactiva real del sistema. Tal como se muestra, la señal 330' sigue más de cerca la señal 500 indicativa de la capacidad de potencia reactiva real del sistema.

En el instante t_{114} , el punto de ajuste $Q_{SETPOINT}$ se reduce a 5000 kvar, mientras que la capacidad real de potencia reactiva 500 se encuentra por encima del punto de ajuste a 7000 kvar. Tal como se muestra, el regulador reduce Q_{CMD} para seguir el punto de ajuste. Esto provoca que se reduzca la diferencia entre el comando de potencia reactiva Q_{CMD} y la capacidad real de potencia reactiva 500. En consecuencia, el factor de corrección para ajustar el límite de potencia reactiva máxima se reduce de modo que el límite de potencia reactiva ajustada 330' vuelve al límite de potencia reactiva máxima inicial 300.

La figura 8 representa un diagrama de flujo de un procedimiento de ejemplo (600) para controlar un sistema de energía renovable de acuerdo con aspectos de ejemplo de la presente descripción. El procedimiento (600) puede implementarse mediante uno o más dispositivos de control, tales como, por ejemplo, los dispositivos de control indicados en la presente descripción. Además, la figura 8 representa las etapas realizadas en un orden particular para fines de ilustración y descripción. Los expertos en la materia, utilizando las descripciones que se dan aquí, comprenderán que varias etapas de cualquiera de los procedimientos que se describen aquí pueden modificarse, adaptarse, expandirse, omitirse y/o reorganizarse de varias maneras sin apartarse del alcance de la presente descripción.

En (602), el procedimiento incluye controlar una salida de potencia reactiva en base a un límite de potencia reactiva inicial. Por ejemplo, tal como se muestra en la figura 4, puede limitarse un comando de potencia reactiva enviado por un regulador de tensión 310 en base por lo menos parcialmente a un límite de potencia reactiva máxima inicial 330 y/o un límite de potencia reactiva mínima inicial 340 para generar el comando de potencia reactiva Q_{CMD} . El límite de potencia reactiva inicial puede determinarse, por ejemplo, en base por lo menos parcialmente a la potencia reactiva nominal de las unidades de generación de potencia individuales. Por ejemplo, el límite de potencia reactiva inicial puede determinarse agregando una potencia reactiva nominal para cada una de una pluralidad de unidades de generación de energía en el sistema de energía renovable.

5 En (604), el procedimiento incluye determinar una diferencia entre una demanda de potencia reactiva (por ejemplo, representada por un comando de potencia reactiva) y una producción real de potencia reactiva para el sistema de energía renovable. Por ejemplo, puede determinarse una diferencia entre el Q_{CMD} y la señal 325 indicativa de la producción real de potencia reactiva.

10 En (606), la diferencia puede compararse con un umbral. El umbral puede ser, por ejemplo, un 5% de la potencia reactiva nominal para el sistema de energía renovable. Si la diferencia se encuentra dentro del umbral, el procedimiento continúa controlando la salida de potencia reactiva del sistema de energía renovable en función del límite de potencia reactiva inicial. Si la diferencia se encuentra fuera del umbral, el procedimiento determina un factor de corrección para el límite de potencia reactiva inicial (608). El factor de corrección puede utilizarse para ajustar el límite inicial de potencia reactiva hacia la producción real de potencia reactiva del sistema de energía renovable. En unas realizaciones, el factor de corrección puede determinarse en base a la magnitud de la diferencia entre la demanda de potencia reactiva y la producción real de potencia reactiva del sistema de energía renovable.

15 En (610), los límites de potencia reactiva se ajustan en función del factor de corrección. Por ejemplo, los límites de potencia reactiva pueden ajustarse a un límite de potencia reactiva corregido. El límite de potencia reactiva corregido puede encontrarse más cerca de la capacidad de potencia reactiva real del sistema de energía renovable. El factor de corrección puede utilizarse para generar un límite de potencia reactiva máxima corregida y/o un límite de potencia reactiva mínima corregida.

20 En (612), el procedimiento incluye controlar la salida de potencia reactiva en base por lo menos parcialmente al límite de potencia reactiva corregido. Por ejemplo, puede limitarse un comando de potencia reactiva enviado por un regulador de tensión 310 en base por lo menos parcialmente al límite de potencia reactiva máxima corregida 330' y/o al límite de potencia reactiva mínima corregida 340' para generar el comando de potencia reactiva Q_{CMD} .

25 En (614), puede determinarse la diferencia entre la demanda de potencia reactiva (determinada en función de los límites de potencia reactiva corregidos) y la producción real de potencia reactiva. En (616), puede determinarse si la diferencia se encuentra dentro de un umbral (por ejemplo, un 5% de la potencia reactiva nominal para el sistema de energía renovable). Si la diferencia no se encuentra dentro del umbral, el procedimiento puede continuar ajustando los límites iniciales de potencia reactiva en función de un factor de corrección tal como se ilustra en la figura 8. Si la diferencia ha vuelto a encontrarse dentro del umbral, el procedimiento puede controlar la salida de potencia reactiva en función del límite de potencia reactiva inicial (602).

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento (600) para controlar un sistema de energía renovable (200), que comprende:

5 controlar (602), mediante uno o más dispositivos de control, una salida de potencia reactiva para un sistema de energía renovable (200) en base por lo menos parcialmente a un límite de potencia reactiva inicial para el sistema de energía renovable;
 10 determinar (604), mediante uno o más dispositivos de control, una diferencia entre una demanda de potencia reactiva y una producción real de potencia reactiva para el sistema de energía renovable (200);
 en el que, cuando la diferencia se encuentra fuera de un umbral, el procedimiento comprende:

determinar (608), mediante el uno o más dispositivos de control, un factor de corrección para el límite de potencia reactiva inicial;
 15 ajustar (610), mediante el uno o más dispositivos de control (360), el límite de potencia reactiva inicial a un límite de potencia reactiva corregido en base por lo menos parcialmente al factor de corrección;
 controlar (612), mediante el uno o más dispositivos de control, la salida de potencia reactiva para el sistema de energía renovable (200) en base por lo menos parcialmente al límite de potencia reactiva corregido;
 20 detectar, mediante el uno o más dispositivos de control (360), la diferencia que vuelve dentro del umbral; y
 en respuesta a la detección de la diferencia que vuelve al umbral, controlar, mediante el uno o más dispositivos de control (360), la salida de potencia reactiva en base por lo menos parcialmente al límite de potencia reactiva inicial.

2. Procedimiento (600) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que el límite de potencia reactiva inicial se determina agregando una potencia reactiva nominal para cada una de una pluralidad de unidades de generación de energía (202) en el sistema de energía renovable (200).

3. Procedimiento (600) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el factor de corrección provoca el ajuste del límite de potencia reactiva inicial hacia la capacidad de potencia reactiva real del sistema de energía renovable (200).

4. Procedimiento (600) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el límite de potencia reactiva inicial comprende un límite de potencia reactiva máxima inicial y un límite de potencia reactiva mínima inicial.

5. Procedimiento (600) de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado por el hecho de que el límite de potencia reactiva corregida comprende un límite de potencia reactiva máxima corregida y un límite de potencia reactiva mínima corregida.

6. Procedimiento (600) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el umbral es un 5% de la potencia reactiva nominal para el sistema de energía renovable (200).

7. Procedimiento (600) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el límite de potencia reactiva corregido se utiliza para limitar un comando de potencia reactiva para el sistema de energía renovable (200).

8. Procedimiento (600) de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el comando de potencia reactiva se distribuye a una pluralidad de unidades de generación de energía (202).

9. Sistema de control para controlar un sistema de energía renovable (200) de acuerdo con el procedimiento (600) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el sistema de control:

un regulador de tensión (310) implementado por uno o más dispositivos de control (360), el regulador de tensión (310) configurado para proporcionar un comando de potencia reactiva en base por lo menos parcialmente a una señal de error de tensión;
 55 un limitador implementado por el uno o más dispositivos de control (360), el limitador configurado para limitar el comando de potencia reactiva en base por lo menos parcialmente a un límite de potencia reactiva inicial para el sistema de energía renovable (200);
 un módulo de corrección de límite de potencia reactiva implementado por uno o más dispositivos de control (360), el módulo de corrección de límite de potencia reactiva configurado para ajustar el límite de potencia reactiva inicial a un límite de potencia reactiva corregido cuando una diferencia entre el comando de potencia reactiva para la energía renovable sistema (200) y una producción de potencia reactiva real para el sistema de energía renovable (200) cae fuera de un umbral, y en el que el módulo de corrección del límite de potencia reactiva está configurado para detectar la diferencia que vuelve al umbral y, en respuesta a la detección de la

diferencia que vuelve al umbral, controlar la salida de potencia reactiva en base por lo menos parcialmente a la potencia reactiva inicial;

en el que el límite de potencia reactiva corregido corrige el límite de potencia reactiva inicial hacia la capacidad de potencia reactiva real del sistema de energía renovable (200).

5

10. Parque eólico (200), que comprende:

una pluralidad de aerogeneradores (202);

una pluralidad de controladores de aerogenerador (360), cada controlador de aerogenerador asociado a por lo menos uno de la pluralidad de aerogeneradores (202); y

10

un controlador de parque eólico (222), el controlador de parque eólico (222) en comunicación con cada uno de los controladores de aerogenerador (360); y

un sistema de control tal como se define en la reivindicación 9.

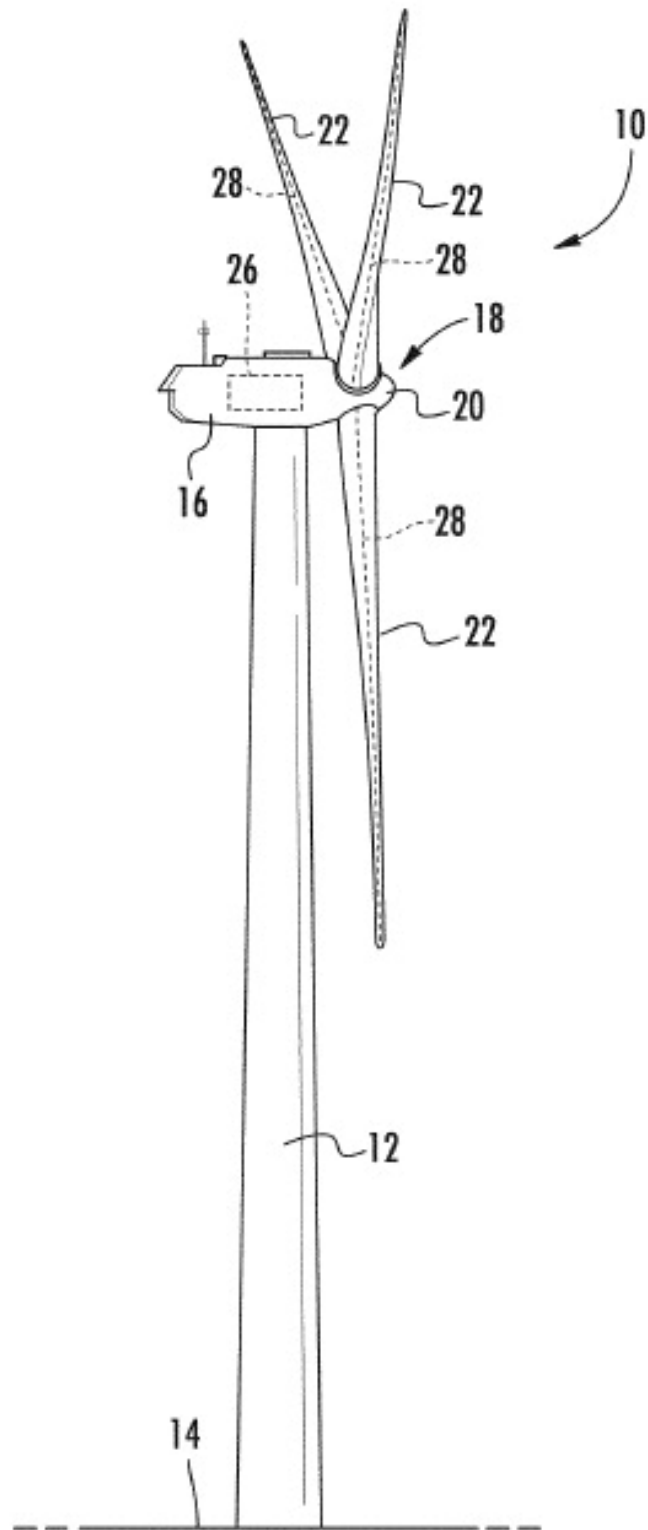


FIG. 1

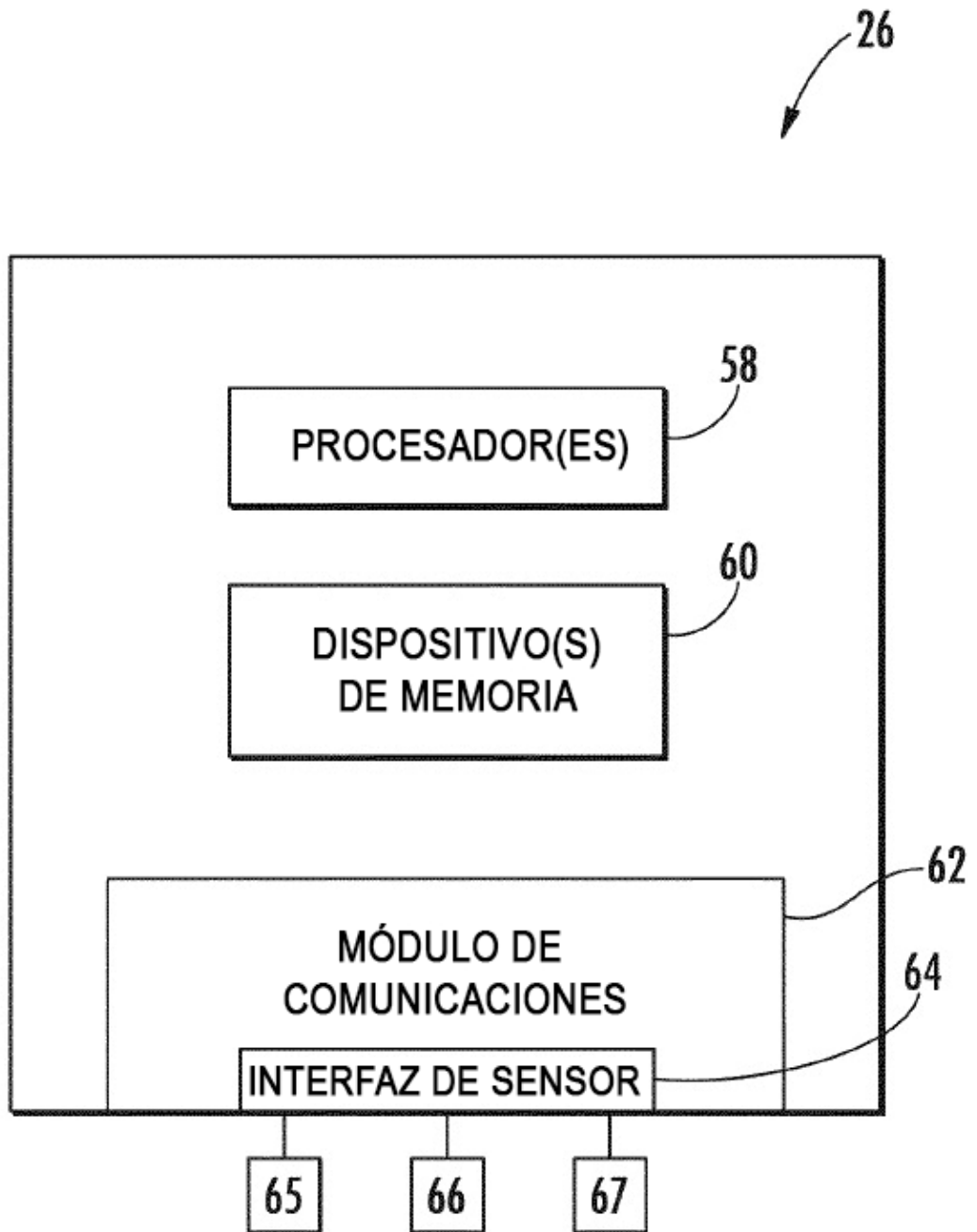


FIG. 2

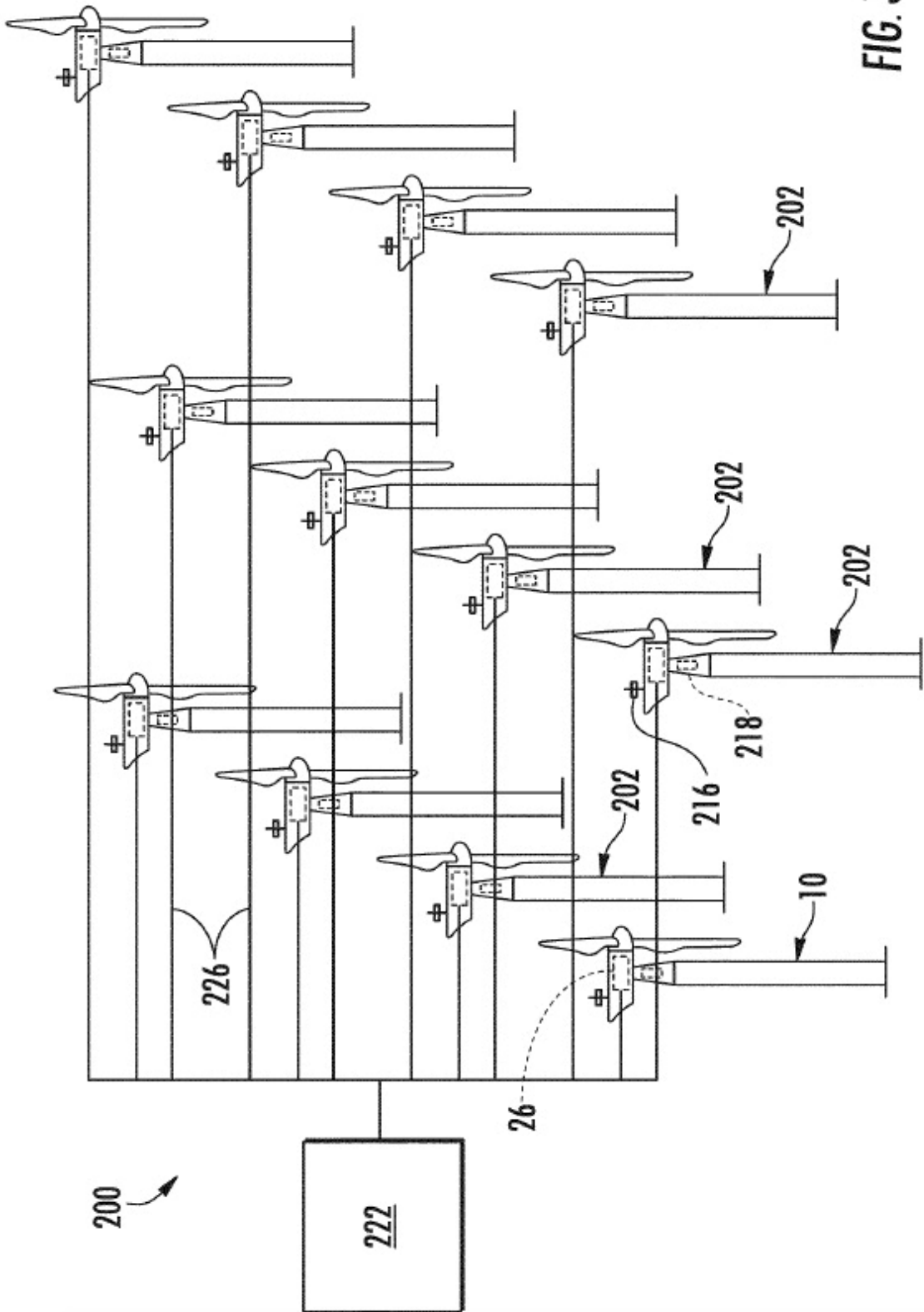


FIG. 3

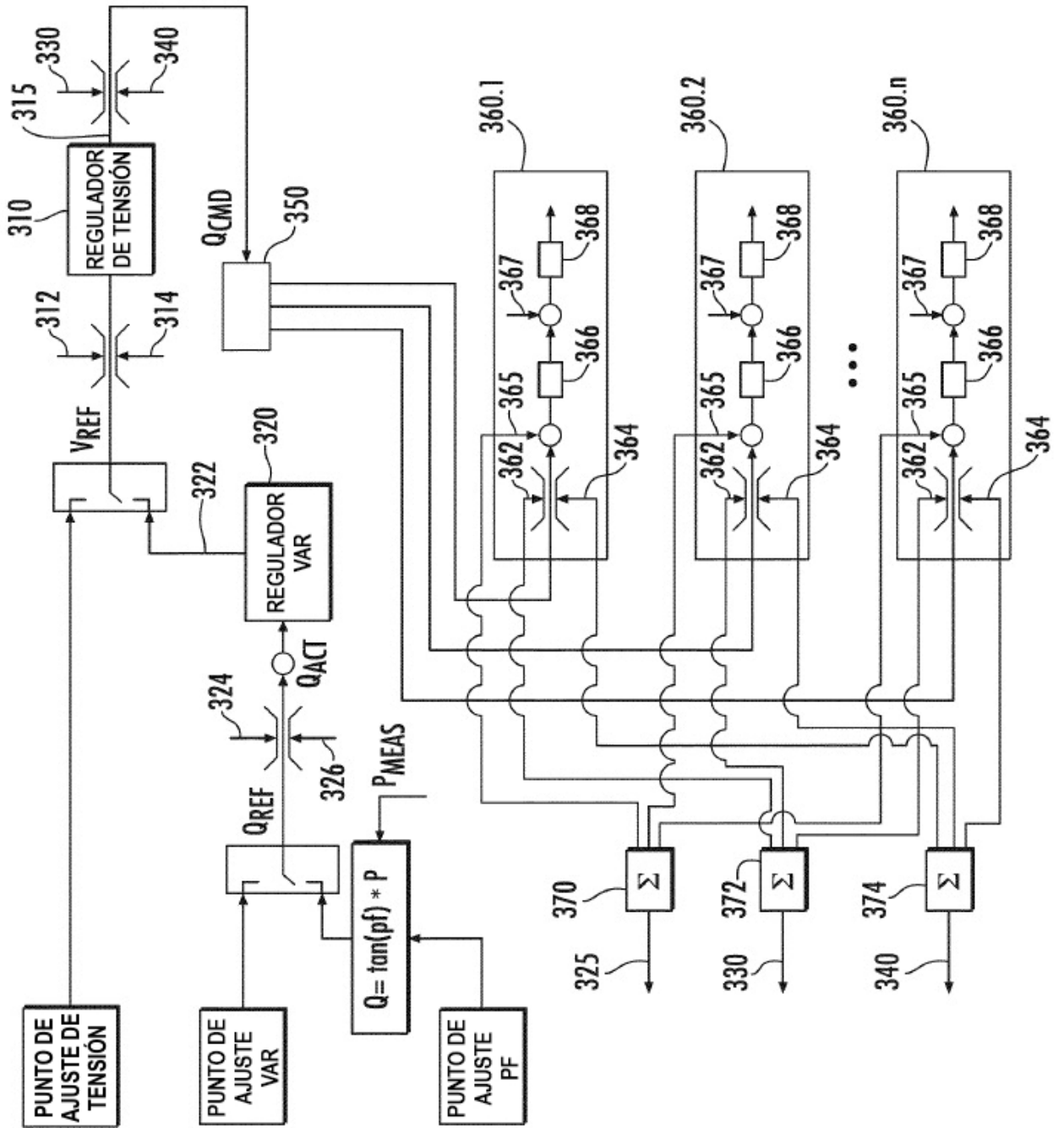
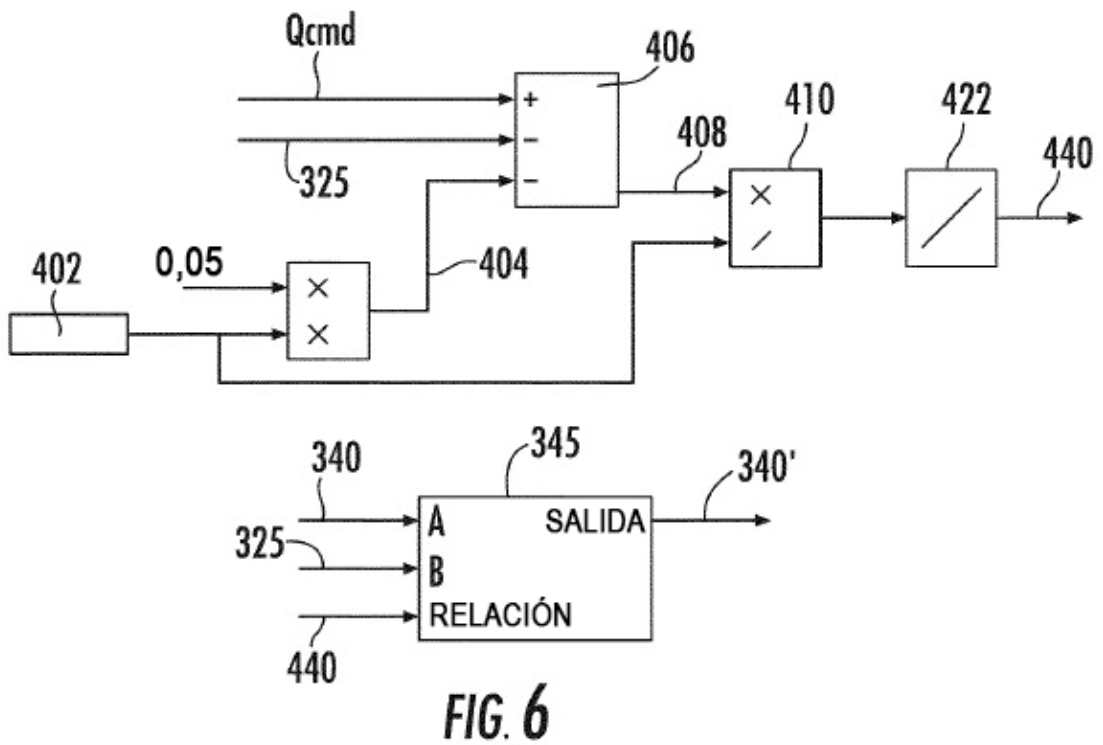
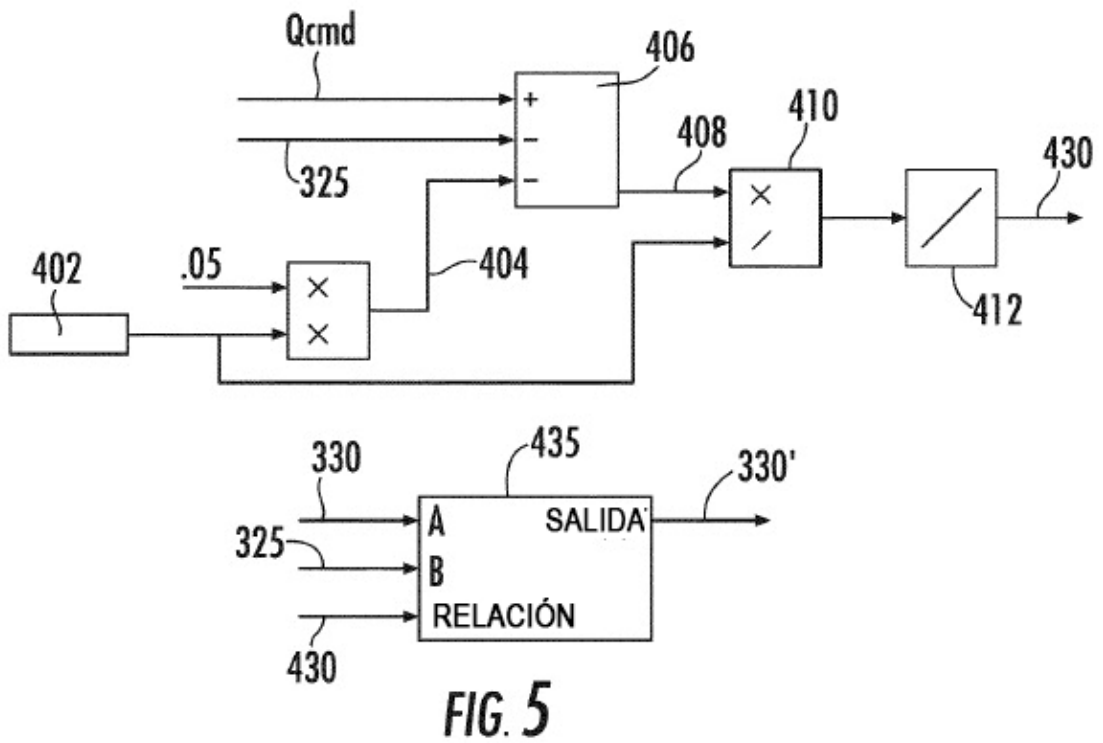


FIG. 4



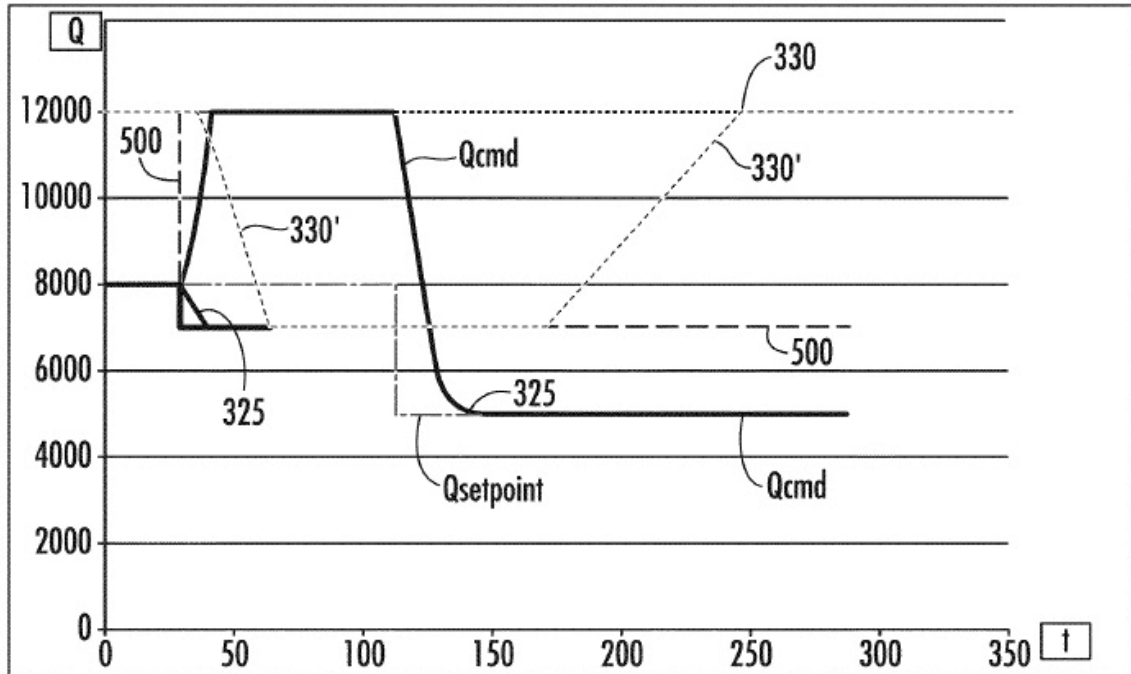
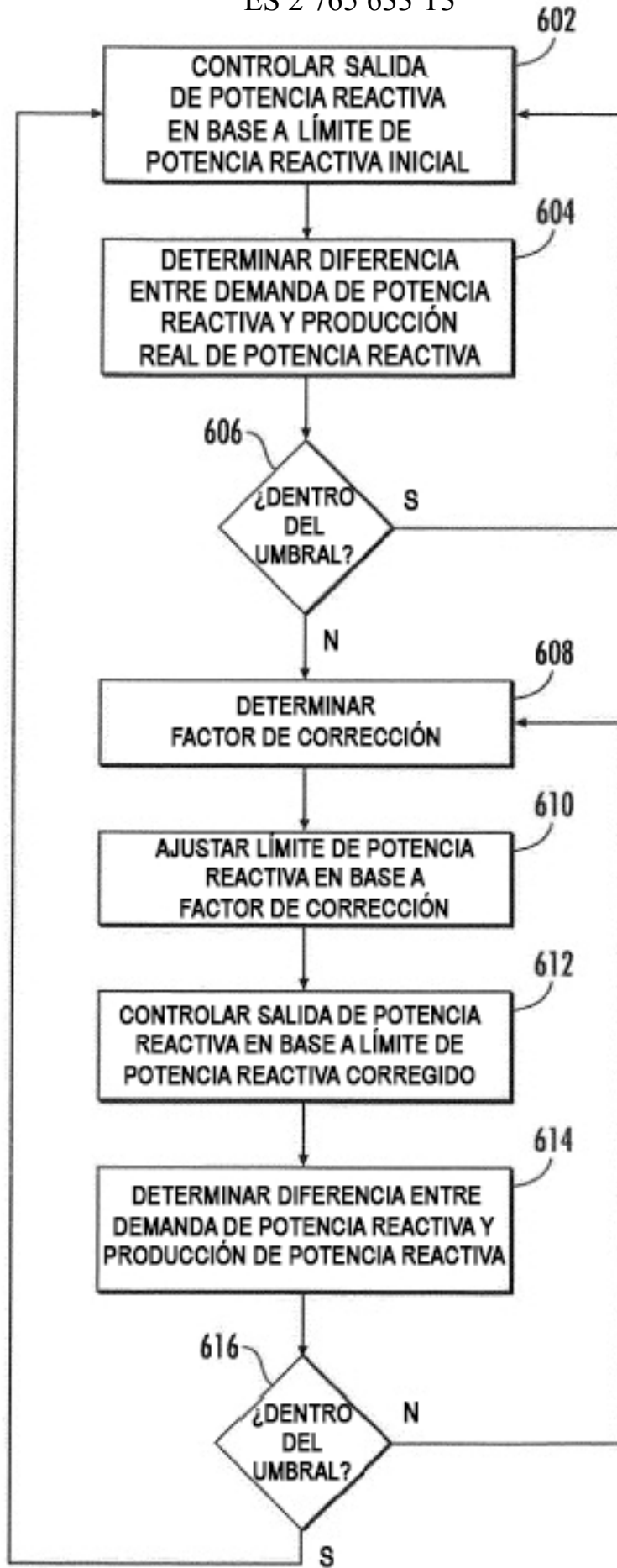


FIG. 7



600

FIG. 8

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

Esta lista de referencias citadas por el solicitante es únicamente para la comodidad del lector. No forma parte del documento de la patente europea. A pesar del cuidado tenido en la recopilación de las referencias, no se pueden excluir errores u omisiones y la EPO niega toda responsabilidad en este sentido.

5

Documentos de patentes citados en la descripción

10

- WO 2104071948 A1 [0004]
- WO 2014040601 A2 [0004]
- US 2010025994 A1 [0004]
- US 2008150283 A [0004]
- EP 2704282 A2 [0004]