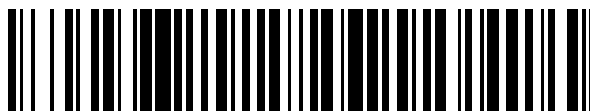


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 421 136**

51 Int. Cl.:

F03D 9/00 (2006.01)

H02P 9/48 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.09.2004 E 04255282 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2013 EP 1512869**

54 Título: **Control de tensión para parque eólico**

30 Prioridad:

03.09.2003 US 655514

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

29.08.2013

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

LARSEN, EINAR V.

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 421 136 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

Control de tensión para parque eólico

5 La invención se refiere a generadores de turbinas eólicas. Más particularmente, la invención se refiere a sistemas de control de tensión y las técnicas para su uso con generadores de turbinas eólicas que tienen el control continuo de la potencia reactiva para al menos parte de la función de compensación de potencia reactiva, véase el documento WO-03/030329 A1.

10 La generación de energía eólica típicamente se proporciona en una "granja" eólica de un gran número (con frecuencia 100 o más) de generadores de turbinas eólicas. Los generadores de turbinas eólicas individuales pueden proporcionar beneficios importantes para el funcionamiento del sistema de potencia. Estos beneficios están relacionados con la mitigación de la fluctuación de la tensión causado por las ráfagas de viento y la mitigación de las desviaciones de tensión causadas por eventos externos.

15 En un escenario de granja eólica cada generador de turbina eólica puede experimentar una fuerza de viento única. Por lo tanto, cada generador de turbina eólica puede incluir un controlador local para controlar la respuesta a las ráfagas de viento y otros eventos externos. El control de la granja eólica de la técnica anterior se ha basado en una de dos arquitecturas: control local con el factor de potencia constante y control a nivel de granja en el control rápido de tensión, o el control local en control de tensión constante sin control a nivel de granja.

20 Ambas arquitecturas de control de la técnica anterior sufren de desventajas. El control local con un factor de potencia constante y el control a nivel de granja en el control rápido de tensión, requieren comunicaciones rápidas con acción agresiva desde el nivel de granja al nivel local. Si el control a nivel de granja está inactivo, el control local puede agravar la fluctuación de la tensión. Con el control de tensión constante en cada generador, la operación de estado estacionario varía significativamente con pequeñas desviaciones de la carga en la red de transmisión. Esto hace que los generadores de turbinas eólicas encuentren límites en operación de estado estacionario que impiden una respuesta a las perturbaciones - que resulta en una pérdida de regulación de la tensión. Dado que la corriente reactiva es mayor de lo necesario durante este modo de operación, la eficiencia general de los generadores de turbinas eólicas disminuye.

30 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un sistema de control de generador de turbina eólica que comprende: un regulador de potencia reactiva para controlar la producción de potencia reactiva por el generador de turbina eólica ajustando un punto de consigna de tensión a un regulador de tensión, teniendo el regulador de potencia reactiva una primera constante de tiempo; y un regulador de tensión acoplado con el controlador de potencia reactiva para controlar la producción real de potencia por uno o más generadores de turbinas eólicas, teniendo el regulador de tensión una segunda constante de tiempo, en el que la primera constante de tiempo es numéricamente mayor que la segunda constante de tiempo.

La invención se ilustra a modo de ejemplo, y no a modo de limitación, en las figuras de los dibujos adjuntos en los que números de referencia iguales se refieren a elementos similares, y en los que:

35 La figura 1 es un diagrama de bloques de una granja eólica que tiene múltiples generadores de turbinas eólicas acoplados con una red de transmisión.

La figura 2 es un diagrama de control de una forma de realización de un sistema de control de generador de turbina eólica.

40 La figura 3 es un diagrama de flujo de una realización de operación de un sistema de control de turbina eólica.

La figura 4 es un conjunto de ejemplo de las formas de onda que corresponde a un control local de la técnica anterior con el factor de potencia constante y sin control a nivel de la granja eólica.

La figura 5 es un conjunto de ejemplo de las formas de onda que corresponde a un control local de la técnica con un factor de potencia constante y control a nivel de granja eólica en control rápido de tensión.

45 La Figura 6 es un conjunto de ejemplo de formas de onda correspondiente al control local de un generador de turbina eólica que tiene un controlador como se describe en la figura 2, sin control a nivel de granja eólica.

50 La figura 7 es un conjunto de ejemplo de formas de onda correspondiente al control local en un generador de turbina eólica que tiene un controlador como se describe en la figura 2, con control a nivel de granja eólica.

Un sistema de control del generador de turbina eólica incluye la regulación relativamente rápida de la tensión de los generadores individuales con regulación de potencia reactiva general relativamente lenta en una subestación o a

nivel de granja eólica. El regulador de potencia reactiva relativamente lento ajusta el punto de consigna del regulador de tensión relativamente rápido. La regulación rápida de tensión puede estar en los terminales del generador o en un punto remoto sintetizado (por ejemplo, entre los terminales del generador y el bus colector). Los controladores de potencia reactiva de la técnica anterior están diseñados con constantes de tiempo de valor numérico menor que las utilizadas en el diseño de regulador de tensión. Eso es, en la técnica anterior, el bucle de control de tensión reactiva está dentro del bucle de control de voltaje, lo que resulta en un sistema menos estable que el que se describe en este documento.

La figura 1 es un diagrama de bloques de una granja eólica que tiene múltiples generadores de turbinas eólicas acopladas con una red de transmisión. La figura 1 ilustra sólo tres generadores eólicos, sin embargo, cualquier número de generadores eólicos puede ser incluido en una granja eólica.

Cada generador de turbina eólica 110 incluye un controlador local que es sensible a las condiciones del generador de turbina eólica que se controla. En una forma de realización, el controlador para cada de generador de turbina eólica detecta sólo la tensión y la corriente del terminal (a través de transformadores de potencial y de corriente). El voltaje y la corriente detectada se utilizan por el controlador local para proporcionar una respuesta apropiada para hacer que el generador de turbina eólica proporcione la potencia reactiva y la tensión deseada. Un diagrama de sistema de control correspondiente a una forma de realización de un controlador de generador de turbina eólica se describe con mayor detalle a continuación con respecto a la figura 2.

Cada generador de turbina eólica 110 está acoplado al bus colector 120 a través de transformadores de conexión del generador 115 para proporcionar potencia real y reactiva (con la etiqueta P_{wg} y Q_{wg} , respectivamente) al bus colector 120. Los transformadores de conexión del generador y buses colectores son conocidos en la técnica.

La granja eólica 100 proporciona una salida de potencia activa y reactiva (marcada P_{wf} y Q_{wf} , respectivamente) a través del transformador principal de la granja eólica 130. El controlador a nivel de granja 150 detecta la salida del parque eólico, así como la tensión en el punto de acoplamiento común 140 para proporcionar un comando de potencia reactiva a nivel de granja (Nivel de granja Q Cmd) 155. En una realización, el controlador a nivel de granja 150 proporciona un único comando de potencia reactiva a todos los aerogeneradores de la granja eólica 100. En realizaciones alternativas, el controlador a nivel de granja 150 proporciona varios comandos para subconjuntos de generadores eólicos de la granja eólica 100. Los comandos de subconjuntos de generadores de turbinas eólicas se pueden basar en, por ejemplo, la información adicional relacionada con las condiciones de funcionamiento de uno o más generadores de turbinas eólicas.

El sistema de control de la figura 2 proporciona una estructura de control mejorada que implica tanto el control a nivel local como de granja para superar las desventajas de las arquitecturas de control de la técnica anterior descritas anteriormente. El sistema de control de la figura 2 elimina la necesidad de un control rápido y agresivo desde el nivel de la granja eólica. Se proporciona la respuesta mejorada si el control a nivel de granja está fuera de servicio. Además, se logra la operación de estado estacionario eficiente, mientras que la respuesta dinámica del sistema se mantiene muy por dentro del conjunto de límites.

La figura 2 es un diagrama de sistema de control correspondiente a una forma de realización de un sistema de control de generador de turbina eólica. En una forma de realización, el sistema de control de un generador de turbina eólica incluye generalmente dos bucles: un bucle regulador de tensión y un bucle regulador de Q. El bucle de regulador de tensión funciona relativamente rápido (por ejemplo, 20 rad/s) en comparación con el bucle regulador de Q (por ejemplo, mayor que 1 segundo de bucle cerrado constante). El regulador ajusta el punto Q del conjunto regulador de tensión.

Conceptualmente, el sistema de control de la figura 2 proporciona el control para el generador de tensión en los terminales de la turbina eólica mediante la regulación de la tensión de acuerdo con un conjunto de referencia por un controlador más alto que el nivel del generador (por ejemplo, subestación o granja eólica). La potencia reactiva se regula durante un largo plazo (por ejemplo, varios segundos) mientras que el voltaje terminal de la turbina de eólica se regula en un plazo más corto (por ejemplo, menos de varios segundos) para mitigar los efectos de los transitorios rápidos de rejilla.

El operador o comando Q 200 a nivel de granja, es una señal que indica la potencia reactiva deseada en los terminales del generador. En el funcionamiento a nivel de granja, el comando Q 200 del generador de turbina eólica se ajusta igual a la salida del control a nivel de granja (línea 155 en la figura 1). En el control local, el comando del operador se ajusta manualmente, ya sea en la ubicación del generador eólico o en una ubicación remota. El comando de operador o a nivel de granja Q 200 puede ser generado o transmitido por, por ejemplo, un sistema informático utilizado para controlar el generador de turbina eólica. El operador o comando Q 200 a nivel de granja, también puede provenir de un operador de red eléctrica o subestación.

En una forma de realización, el operador o comando Q 200 a nivel de granja se transmite al comando limitador 220, que opera para mantener los comandos de potencia reactiva dentro de un rango predeterminado. Q_{max} 222 y Q_{min} 224 indican los límites superior e inferior del rango de comando de potencia reactiva.

Los valores específicos utilizados para Q_{max} y Q_{min} se basan en, por ejemplo, la capacidad reactiva del generador. En

una realización, el valor de $Q_{m\acute{a}x}$ es 800 kVAR y el valor de $Q_{m\acute{i}n}$ es -1200 kVAR para un generador de turbina eólica de 1,5 MW, sin embargo, los valores específicos dependen de la capacidad de los generadores que se utilizan.

5 La salida de señal por el control del limitador 220 es el comando Q 230, que es un comando que indica la potencia reactiva objetivo a ser producida. El comando Q 230 está en el intervalo entre $Q_{m\acute{i}n}$ 224 y $Q_{m\acute{a}x}$ 222. El comando Q 230 se compara con una señal que indica la potencia reactiva medida 210. La señal de error resultante, error Q 235, indica la diferencia entre la potencia reactiva medida y la potencia reactiva comandada.

10 El error Q 235 es una señal de entrada al regulador Q 240, que genera comando V 250 que indica a un generador la energía reactiva a ser proporcionada por el generador. En una forma de realización, el regulador Q 240 es un controlador proporcional integral (PI) que tiene una constante de tiempo en el bucle cerrado en el rango de 1 a 10 segundos (por ejemplo, 3 segundos, 5 segundos, 5,5 segundos). Otros tipos de controladores también se pueden utilizar, por ejemplo, controladores derivados proporcionales (PD), controladores derivados integrales proporcionales (PID), controladores de estado de espacio, etc. Otras constantes de tiempo pueden ser utilizadas para el regulador Q 240 a condición de que la constante de tiempo para el regulador Q 240 es numéricamente mayor que la constante de tiempo del regulador de tensión 270.

15 El comando V 250 está limitado a un intervalo predeterminado entre $V_{m\acute{a}x}$ 242 y $V_{m\acute{i}n}$ 244. En una forma de realización, $V_{m\acute{a}x}$ 242 y $V_{m\acute{i}n}$ 244 se definen en términos de porcentaje de potencia de salida nominal del generador. Por ejemplo, $V_{m\acute{a}x}$ 242 puede ser el 105% de la tensión nominal del generador y $V_{m\acute{i}n}$ 244 puede ser del 95% de la tensión nominal del generador. También pueden ser utilizados límites alternativos.

20 El comando V 250 se compara con una señal que indica la tensión terminal medida 255 para el generador. La diferencia entre el comando V 250 y la tensión terminal medida 255 es la señal de error de tensión 260. La señal de error de tensión 260 es la señal de entrada al regulador de tensión 270.

25 El regulador de tensión 270 genera un comando de rotor de la corriente 280, que se utiliza para controlar la corriente del rotor del generador. En una forma de realización, el regulador Q 240 es un regulador PI que tiene una constante de tiempo de bucle cerrado de aproximadamente 50 milisegundos. Otros tipos de controladores también se pueden utilizar, por ejemplo, controladores PD, controladores PID, etc. Otras constantes de tiempo se pueden utilizar (por ejemplo, 1 segundo, 20 milisegundos, 75 milisegundos, 45 milisegundos) para el regulador de tensión 270 a condición de que la constante de tiempo del regulador de tensión 270 es menor que la constante de tiempo del regulador Q 240.

30 En general, hay dos componentes de un comando de corriente del rotor. Son el componente de poder real denotado como I_{rq_Cmd} y el componente de potencia reactiva indicado como I_{rd_Cmd} . El comando de la corriente del rotor (240) generado como se describe con respecto a la figura 2 es el componente reactivo o comando I_{rd_Cmd} . El componente real o I_{rq_Cmd} se pueden generar de cualquier manera conocida en la técnica. El comando 280 de corriente del rotor está limitado a $I_{rdm\acute{a}x}$ 272 e $I_{rdm\acute{i}n}$ 274. Los valores para $I_{rdm\acute{a}x}$ 272 e $I_{rdm\acute{i}n}$ 274 se pueden basar en valores de corriente del generador. Por ejemplo, $I_{rdm\acute{a}x}$ 272 puede ser la corriente nominal pico para el rotor del generador $I_{rdm\acute{i}n}$ 274 puede ser un porcentaje de la corriente nominal pico para el rotor del generador. También pueden ser utilizados límites alternativos.

40 En una forma de realización, todos los límites discutidos con respecto a la figura 2 son los límites de no oscilación, sin embargo, en realizaciones alternativas, un subconjunto de los límites puede ser límites de no oscilación. Los límites se han discutido en términos de parámetros fijos, sin embargo, los parámetros variables dinámicamente proporcionados por, por ejemplo, una tabla de búsqueda o un procesador o una máquina de estado que ejecute un algoritmo de control pueden proporcionar los límites. Tal límite variable de forma dinámica se puede basar en una corriente nominal del generador y una salida de potencia real contemporánea.

45 La figura 3 es un diagrama de flujo de una realización de operación de un sistema de control del generador. Se recibe una señal de potencia reactiva, 300. Como se mencionó anteriormente, el comando de potencia reactiva puede ser un comando del operador, un comando a nivel de finca o un comando local.

50 Un punto de consigna de tensión se determina basándose en el comando de potencia reactiva, 305. El punto de consigna de tensión está limitado a un rango definido por los límites superior e inferior que se basan en la tensión del terminal del generador. En una forma de realización, los límites se definen en términos de porcentaje de potencia de salida nominal del generador. Por ejemplo, el límite superior puede ser 105%, 110%, 102%, 115% de la tensión nominal del generador y el límite inferior puede ser 95%, 98%, 92%, 90%, 97% de la tensión nominal del generador. También pueden ser utilizados límites alternativos.

55 Un comando de corriente del rotor para el generador se determina basándose en el punto de consigna de tensión, 315. El comando de la corriente del rotor es limitado, 320, a un rango basado en, por ejemplo, la capacidad de corriente del generador. Por ejemplo, la capacidad nominal del pico de corriente se pueden utilizar para los límites, o porcentajes del pico de la capacidad nominal de corriente se puede utilizar para los límites. El comando de la corriente del rotor se transmite al controlador del rotor, 325. El controlador del rotor hace que se proporcione la corriente comandada al rotor del generador. El generador proporciona entonces una salida de potencia reactiva en base a la corriente del rotor proporcionada, 330.

5 Las figuras 4 y 5 ilustran el comportamiento de funcionamiento típico característico del generador de turbina eólica para los sistemas de control de la técnica anterior. Estos gráficos muestran la respuesta de los generadores de turbinas eólicas y de la totalidad de la granja, con y sin control de tensión de la granja rápido. Los generadores de turbinas eólicas individuales se operan en el control del factor de potencia constante con un punto de consigna para obtener el funcionamiento sobreexcitado (como podría ser necesario para apoyar el sistema de transmisión externo a la granja eólica). En las figuras 4 y 5, se representan las siguientes variables, de arriba a abajo (véase la figura 1 para ver si éstas están en la granja eólica): P_{wg} es la potencia real de un generador de turbina eólica individual, Q_{wg} es la potencia reactiva del generador, Q_{Cmd_Farm} es la salida del controlador a nivel de granja (línea 155 en la figura 1), V_{wg} es la tensión terminal del generador, V_{pcc} es la tensión en el punto de acoplamiento común (140 en la figura 1). El objetivo es por lo general mantener V_{pcc} en un valor constante, incluso cuando la potencia fluctúa debido a las variaciones en la velocidad del viento.

15 La figura 4 es una técnica anterior solamente con el control local (es decir, Q_{Cmd_Farm} es constante). Tenga en cuenta que la señal V_{pcc} varía considerablemente con las fluctuaciones de potencia P_{wg} , lo que es indeseable. La figura 5 es la técnica con el control a nivel de granja activado. Mientras V_{pcc} es mucho más estable que en la figura 4, la señal de control a nivel de granja varía considerablemente. Esto es debido a que el control a nivel de granja debe superar los efectos adversos inherentes del control local de la técnica anterior.

20 Las figuras 6 y 7 son comparables a las figuras 4 y 5, pero con el control descrito en la figura 2. La respuesta inherente al control local es en general relativamente buena, por lo que el control de las explotaciones sólo proporciona control de consigna. Por lo tanto, se consigue el objetivo de permitir que el control a nivel de granja sea menos agresivo y más lento con el nuevo control.

La referencia en la memoria a "una realización" significa que un determinado rasgo, estructura o característica descrita en conexión con la realización se incluye en al menos una realización de la invención. Las apariciones de la frase "en una realización" en diversos lugares de la especificación no son necesariamente todas referentes a la misma realización.

25

REIVINDICACIONES

1. Sistema de control de generador de turbina eólica que comprende:
 - 5 un regulador de potencia reactiva (240) para controlar la producción de potencia reactiva por el generador de turbina eólica, ajustando el punto de consigna de tensión a un regulador de tensión (270), teniendo el regulador de potencia reactiva (240) una primera constante de tiempo, y
 - estando el regulador de tensión (270) acoplado con el regulador de potencia reactiva (240) para controlar la producción real de potencia por uno o más generadores de turbinas eólicas (110), teniendo el regulador de tensión (270) una segunda constante de tiempo, en el que la primera constante de tiempo es numéricamente mayor que la segunda constante de tiempo.
- 10 2. Sistema de control de generador de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en el que una señal de entrada al regulador de potencia reactiva (235) comprende una señal de error que indica una diferencia entre un comando limitado a un rango predeterminado en base a la capacidad de potencia reactiva (230) del generador y una señal que indica la potencia reactiva medida (210).
- 15 3. Sistema de control de generador de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en el que una señal de salida desde el regulador de potencia reactiva (250) está limitada a un rango predeterminado definido por límites superior (242) e inferior (244) en base a la tensión terminal del generador.
- 20 4. Sistema de control de generador de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en el que una señal de entrada al regulador de tensión (270) comprende una señal de error que indica una diferencia entre una señal de salida desde el regulador de potencia reactiva limitado a un intervalo predeterminado definido por un límite superior y uno inferior en base a los valores nominales y/o puntos de consigna de operación (250) del convertidor y una señal que indica la tensión terminal medida (255), en el que la señal de salida del regulador de tensión (280) determina una corriente a suministrar al generador.
5. Procedimiento que comprende:
 - recibir un comando (200) de potencia reactiva;
 - 25 determinar un punto de consigna de tensión en base al comando de potencia reactiva (230), en el que el punto de consigna de tensión está limitado a un rango de límites superior (222) e inferior (224) en base a la tensión terminal del generador;
 - determinar un comando (280) de corriente del rotor para el generador de turbina eólica en respuesta a la tensión de consigna, en el que el comando de corriente del rotor está limitado a un rango en base a una corriente nominal del generador de turbina eólica y una salida de potencia real contemporáneas;
 - 30 transmitir el comando de corriente del rotor a un controlador del rotor del generador de turbina eólica, y
 - generar una potencia real y reactiva sobre en base al comando de corriente del rotor.
6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el punto de consigna de tensión basado en el comando de potencia reactiva está determinado por un regulador de potencia reactiva (240).
- 35 7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, en el que un punto de consigna de tensión basado en el comando de potencia reactiva comprende generar, con un regulador de potencia reactiva (240), un punto de consigna de tensión (250) a transmitir a un regulador de tensión (270).
8. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la constante de tiempo del regulador de tensión (270) es numéricamente menor que la constante de tiempo del regulador de potencia reactiva (240).
- 40 9. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la recepción del comando (200) de potencia reactiva comprende recibir un comando de potencia reactiva a nivel de granja de un controlador a nivel de granja que transmite comandos de potencia reactiva a múltiples generadores de turbinas eólicas.
- 45 10. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, en el que la recepción del comando (200) de potencia reactiva comprende recibir un comando de potencia reactiva localmente a partir de una fuente que proporciona un comando de potencia reactiva para un solo generador de turbina eólica.

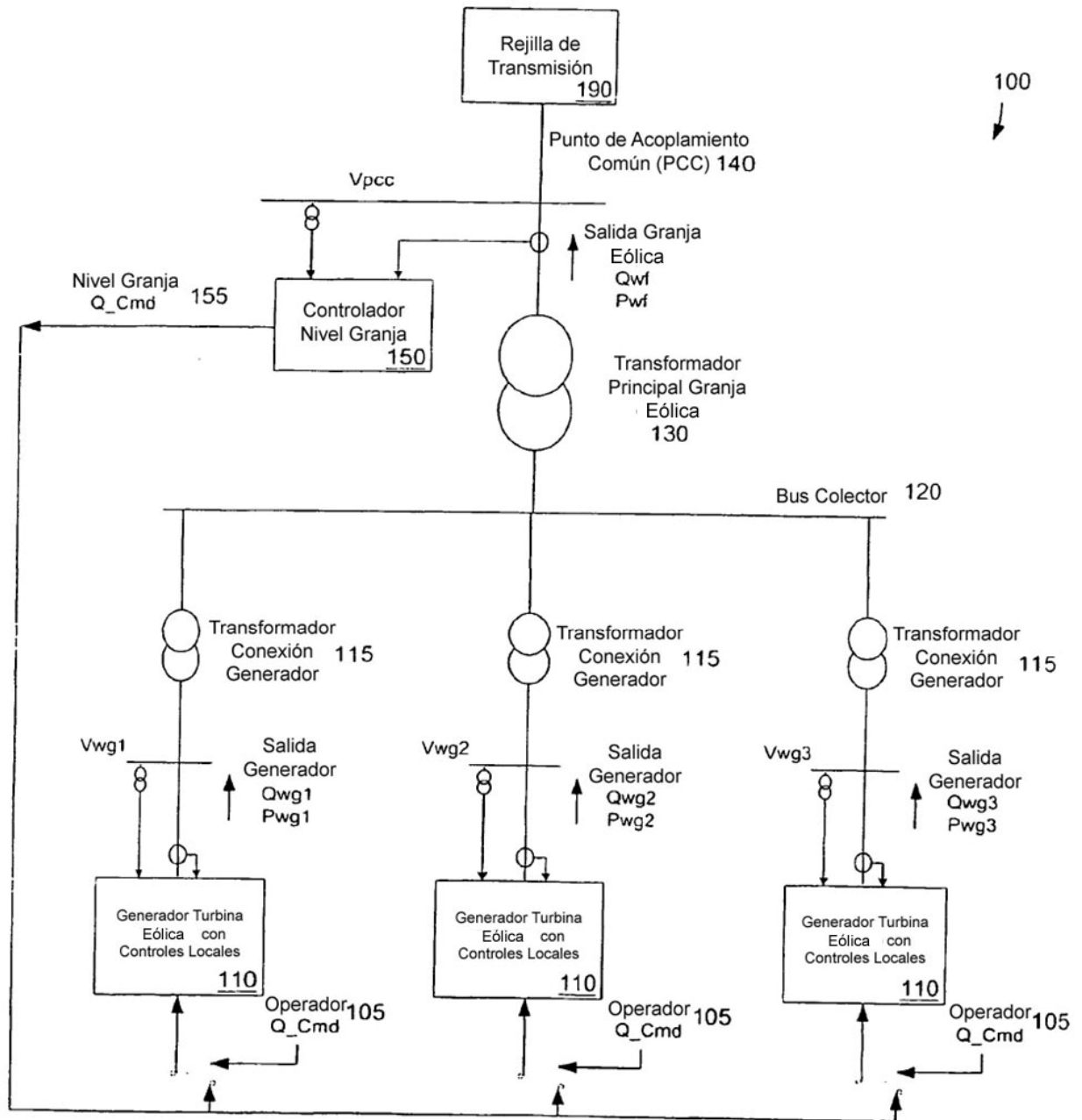


FIG.1

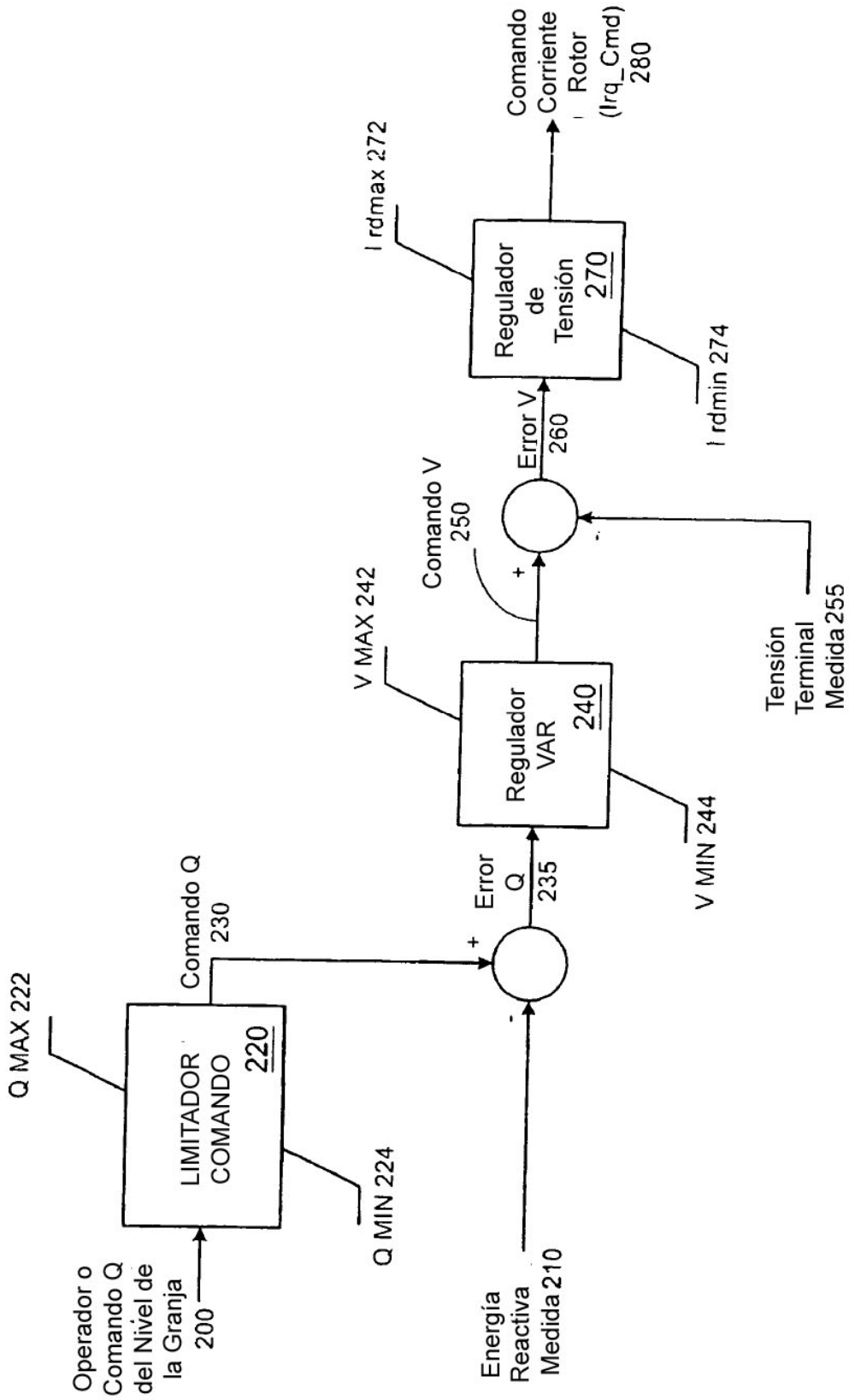


FIG. 2

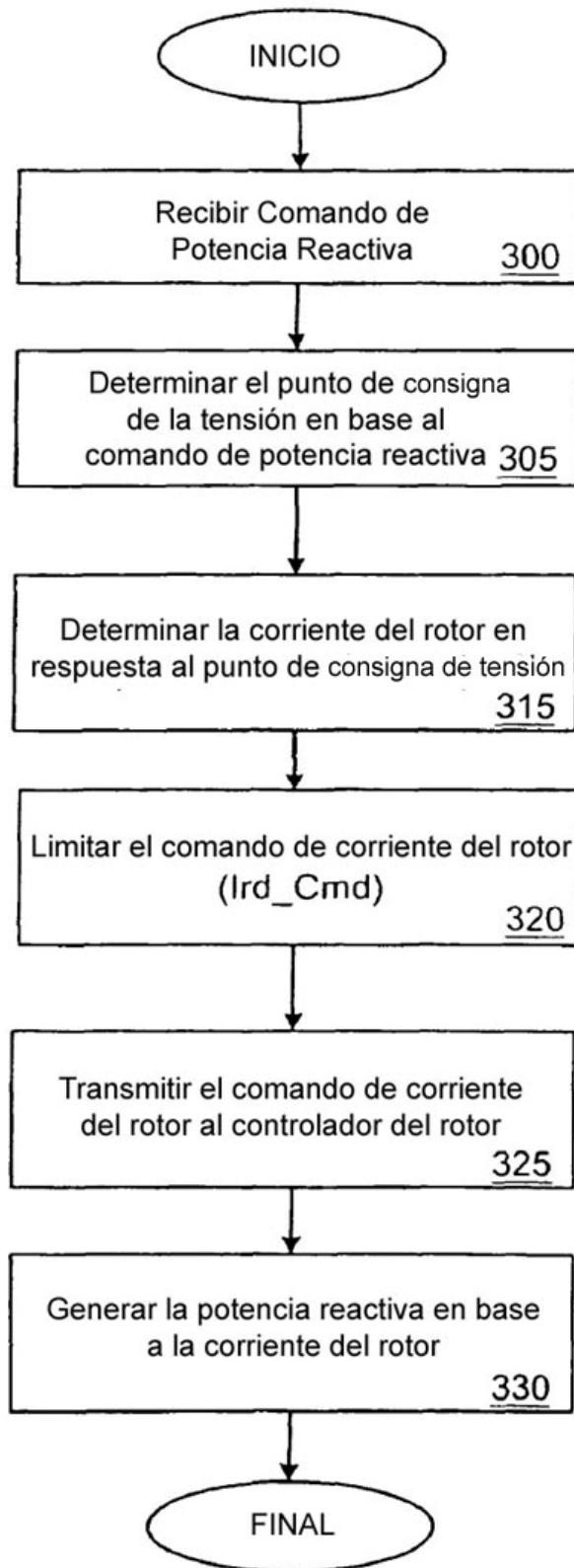


FIG. 3

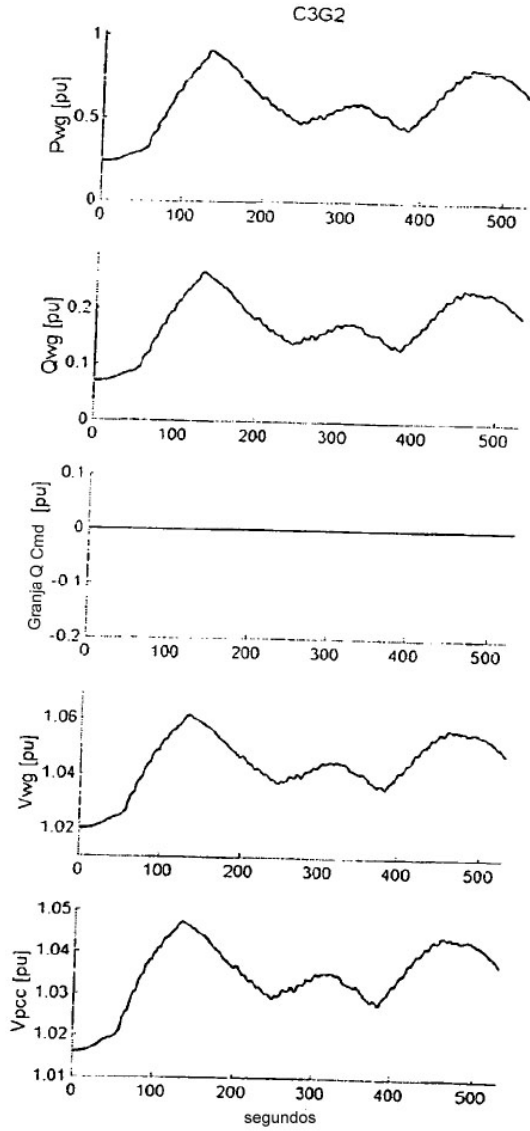


Fig. 4

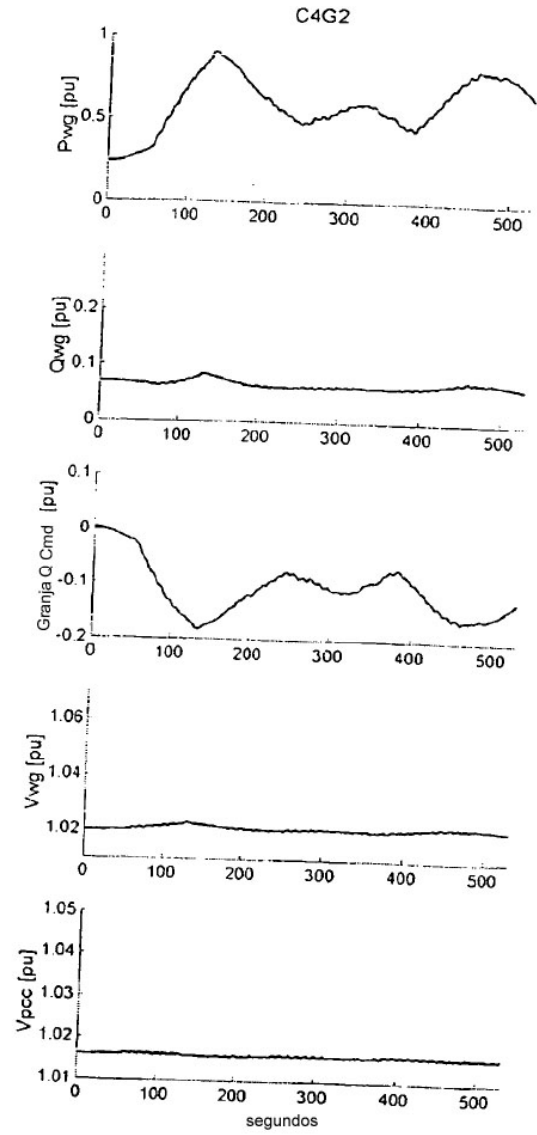


Fig. 5

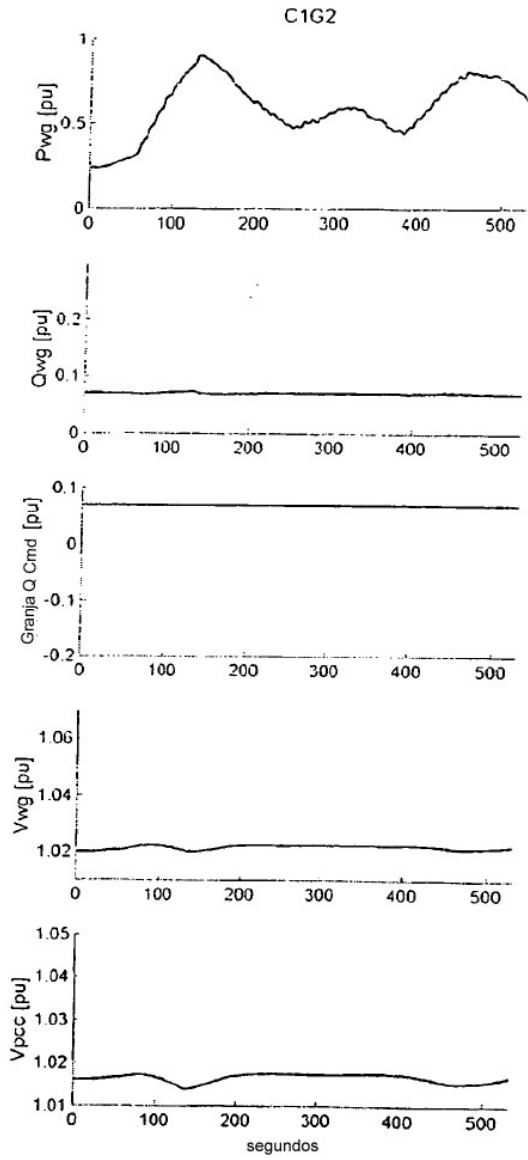


Fig. 6

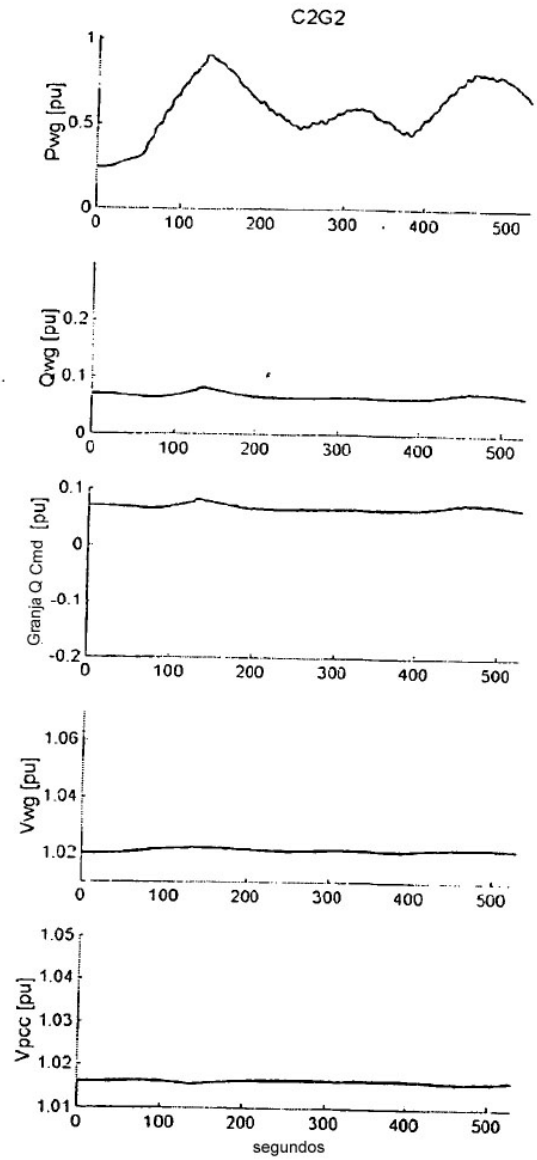


Fig. 7