

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 639 998**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

H02J 3/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.02.2009 E 09250492 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.08.2017 EP 2108828**

54 Título: **Optimización de pérdida de sistema colector de parque eólico**

30 Prioridad:

28.02.2008 US 39028

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

31.10.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**CARDINAL, MARK E.;
DELMERICO, ROBERT W.;
MILLER, NICHOLAS W. y
WALLING, REIGH A.**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 639 998 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

Optimización de pérdida de sistema colector de parque eólico

5 La invención se refiere, en general, al control de la pérdida de potencia en un parque eólico y, más en concreto, a un sistema y un procedimiento para distribuir carga reactiva y optimizar la tensión de parque eólico para reducir las pérdidas de sistema colector.

10 Se prevé que las turbinas eólicas se conviertan de manera progresiva en una gran fuente de energía en todo el mundo, basada en la captura de una fuente renovable de energía que no emita gases de carbono. Sin embargo, el desarrollo de sistemas de turbina eólica aún está en sus inicios si se compara con tecnologías competitivas. Más específicamente, el control de sistemas para grupos de turbinas eólicas controladas conjuntamente, o para parques eólicos, está todavía en sus inicios.

Las técnicas actuales de control de parques eólicos generalmente se refieren al control de la tensión y/o al control de la potencia real y reactiva, ya sea en la turbina individual o en un punto de recogida común del sistema. La eficiencia del sistema, basada en la reducción de pérdida, generalmente no se ha tenido en cuenta en tales esquemas de control. Véanse, por ejemplo, las patentes WO 2006/120033, EP 1508951 y EP 1512869.

15 Las pérdidas de un sistema colector de un parque eólico son la suma de las pérdidas de carga óhmicas, proporcionales a la magnitud de la corriente al cuadrado, y las pérdidas por excitación sin carga de los transformadores en el sistema colector, que son proporcionales a la tensión elevada a un exponente. Este exponente es siempre mayor de dos. Empíricamente, el exponente es normalmente de casi tres.

20 La pérdida de carga $P_{LL}(S, V)$, a veces conocida como pérdida de conducción o pérdida en el "cobre" en cualquier salida de potencia S y tensión V de cualquier complejo de parque eólico, está relacionada con la pérdida de carga $P_{LL-nominal}$ en la salida de potencia nominal $S_{nominal}$ y la tensión nominal $V_{nominal}$ según la Ecuación 1

$$P_{LL}(S, V) = \left(\frac{V_{nominal}}{V}\right)^2 \cdot \left(\frac{S}{S_{nominal}}\right)^2 \cdot P_{LL-nominal}$$

Ecuación (1)

25 La pérdida sin carga de los transformadores de sistema colector $P_{NL}(V)$, también denominada pérdida por excitación o pérdida en el "hierro", a cualquier tensión V , está relacionada con la pérdida sin carga $P_{NL-nominal}$ a una tensión nominal $V_{nominal}$ según la siguiente ecuación:

$$P_{NL}(V) = \left(\frac{V}{V_{nominal}}\right)^N \cdot P_{NL-nominal}$$

Ecuación (2)

en donde N es un exponente empíricamente derivado exclusivo del diseño magnético y de los materiales de los transformadores utilizados en el sistema colector.

30 La pérdida total $P_{PÉRDIDA}(S, V)$ a cualquier tensión y nivel de potencia compleja es la suma de la Ecuación (1) más (2), como se describe en la Ecuación (3).

$$P_{PÉRDIDA}(S, V) = \left(\frac{V_{nominal}}{V}\right)^2 \cdot \left(\frac{S}{S_{nominal}}\right)^2 \cdot P_{LL-nominal} + \left(\frac{V}{V_{nominal}}\right)^N \cdot P_{NL-nominal}$$

Ecuación (3)

35 La pérdida total se puede minimizar mediante la selección optimizada de V . Esto se puede determinar diferenciando la Ecuación (3) con respecto a V , y resolviendo para el valor de V donde esta primera derivada es cero.

Para parámetros típicos, la figura 1 muestra la variación de la pérdida total con el nivel de tensión para cuatro niveles de potencia diferentes. Con un 10 % de potencia, una tensión baja es óptima. Con un 30 % de potencia, una tensión próxima al valor nominal es óptima, y por encima de este nivel de potencia, una tensión alta es óptima desde el punto de vista de las pérdidas. La misma información se muestra en un formato tridimensional en la figura 2.

Además de las soluciones de control, sería posible diseñar un sistema colector de pérdidas más bajas disminuyendo la resistencia del sistema colector (aumentar el área en la sección transversal del conductor) o diseñando un sistema colector de mayor tensión. Estas alternativas requieren una inversión sustancial en equipos y el ahorro en pérdidas reducidas generalmente no justifica la inversión de equipos.

- 5 En consecuencia, existe la necesidad de proporcionar un procedimiento para el control de sistema para reducir pérdidas mediante la optimización de la distribución de carga reactiva y el control de tensión, manteniendo esencialmente los mismos equipos físicos y estructura de control para el sistema.

La invención se define como un sistema de parque eólico para minimizar la pérdida eléctrica con las características técnicas de la reivindicación 1.

- 10 Por tanto, varios aspectos de la presente invención, tal y como se define en las reivindicaciones, hacen referencia a un sistema de parque eólico que está optimizado para minimizar la pérdida eléctrica y a un procedimiento para minimizar la pérdida eléctrica en el sistema de parque eólico.

Varias características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán más adelante cuando se lea la descripción detallada que sigue a continuación con referencia a los dibujos que se acompañan, en los que los mismos caracteres representan las mismas partes en todos los dibujos, en donde:

- 15 La figura 1 es un gráfico que ilustra la variación de la pérdida de potencia total con el nivel de tensión para diferentes niveles de potencia;
 La figura 2 es un gráfico tridimensional que ilustra la variación de la pérdida de potencia total con el nivel de tensión para diferentes niveles de potencia;
 20 La figura 3 ilustra un sistema de parque eólico simple de tres generadores de turbina eólica con el fin de ilustrar una distribución de carga reactiva optimizada para minimizar pérdidas de acuerdo con una realización de la presente invención;
 La figura 4 ilustra una comparación de la distribución de tensión y de VAR en un sistema de un parque eólico simple con una distribución de VAR estándar frente a una distribución de VAR optimizada entre las turbinas eólicas;
 25 La figura 5 ilustra un sistema colector de parque eólico que emplea un algoritmo de minimización de pérdida, de acuerdo con una realización de la presente invención;
 La figura 6 ilustra un sistema colector de parque eólico con control de cambio de toma en carga que emplea un algoritmo de minimización de pérdida, de acuerdo con una realización de la presente invención;
 30 La figura 7 ilustra un organigrama para un procedimiento para minimizar la pérdida de sistema colector a través de un algoritmo para la asignación de carga reactiva a generadores de turbina eólica individuales fuera del ámbito de aplicación de la invención; y
 La figura 8 ilustra un organigrama para un procedimiento para minimizar la pérdida de sistema colector a través de un algoritmo para establecer una tensión optimizada en el lado de sistema colector del transformador principal de parque eólico, fuera del ámbito de aplicación de la invención.
 35

Varias de las siguientes realizaciones de la presente invención tienen muchas ventajas, incluidas la reducción de pérdidas de potencia de parque eólico mediante la optimización de distribución de carga reactiva y el control de tensión de sistema sin necesidad de cambios de hardware en el sistema.

- 40 Las corrientes que fluyen en un sistema colector de parque eólico crean pérdidas debido a la resistencia eléctrica del sistema. Un sistema colector de parque eólico se construye como un conductor alargado con turbinas eólicas conectadas en paralelo a lo largo de su longitud. El conductor puede tener una configuración radial simple, en una topología dendrítica con una o más ramificaciones, o una configuración en bucle. Los generadores de turbina eólica que están más alejados de la subestación o punto de acoplamiento común transmiten su potencia a una mayor distancia y por tanto presentan más pérdidas de potencia, reales y reactivas, que las turbinas más cercanas al punto de acoplamiento común. Además, la corriente es inversamente proporcional a la tensión para una potencia constante. Al aumentar la tensión del sistema colector, se requiere menos corriente para suministrar la misma potencia. Las pérdidas de conductor en cables y transformadores son proporcionales al cuadrado de la magnitud de la corriente. Cuando es posible aumentar la tensión del sistema colector, las pérdidas del conductor pueden disminuirse. Las turbinas eólicas están conectadas al sistema colector a través de transformadores, que tienen pérdidas por excitación que son independientes de la carga, pero que aumentan con la tensión a una potencia exponencial mayor de dos. En condiciones de carga ligera, las pérdidas eléctricas de parque eólico están dominadas por pérdidas por excitación de transformador. En altos niveles de producción, predominan pérdidas de conductor. Por tanto, la optimización de producción de VAR asignada a cada generador de turbina eólica y la optimización de la tensión de sistema colector, disminuyen las pérdidas de sistema colector. La minimización de estas pérdidas da como resultado una mayor producción de energía suministrada a la red eléctrica y, por tanto, mayores ingresos para el propietario del parque eólico.
 55

En un primer enfoque, el objetivo es gestionar el nivel de potencia de parque eólico de manera que se minimice la pérdida total. Para el fin de esta explicación, las variaciones en la magnitud de tensión dentro del sistema colector de parque eólico no son tenidas en cuenta, ni tampoco la optimización de la salida de potencia reactiva de generador

de turbina eólica. Este concepto se puede incorporar en diversas realizaciones de la presente invención mediante el uso de un cambiador de toma en carga en el transformador de subestación de parque eólico, que permite el ajuste de tensión del sistema colector independientemente de la tensión de la red. Una limitación principal es que la tensión en cada generador de turbina eólica tendrá que estar dentro de los límites de funcionamiento de ese dispositivo; por ejemplo, de 0,9 a 1,1 veces la tensión nominal. Un requisito de funcionalidad para tal control es que el transformador de subestación tenga un rango de tomas suficiente para proporcionar una relación que haga concordar la tensión de sistema colector optimizado con la tensión de la red de abastecimiento. El primer enfoque puede aplicarse con un transformador de subestación de parque eólico que tenga capacidad de cambio de toma en carga que permita que la tensión de colector sea ajustada independientemente de la tensión de la red. En este enfoque, la tensión de colector se optimiza para equilibrar el intercambio entre las pérdidas de carga de cable y de transformador y las pérdidas de núcleo de transformador. Bajo carga ligera, la tensión se reduce para minimizar la pérdida de núcleo, y bajo carga pesada, la tensión se incrementa para reducir la corriente para la misma potencia, reduciendo así las pérdidas óhmicas del conductor. Este primer enfoque también se puede usar cuando la capacidad de cambio de toma en carga no está disponible, ajustando la tensión de colector usando la capacidad reactiva de generador de turbina eólica cuando el factor de potencia de parque eólico o la regulación de tensión no son necesarios. Se proporciona un algoritmo cuyo efecto técnico es minimizar pérdidas eléctricas para el parque eólico mediante el control la tensión de colector.

En un segundo enfoque, varias realizaciones de la invención reducen las pérdidas de potencia en un sistema colector de parque eólico mediante la gestión de la magnitud de la tensión del sistema colector y la distribución de la producción de la potencia reactiva. En una realización de este enfoque, la producción total de VAR de parque eólico se envía en primer lugar a las turbinas eólicas que están más próximas al punto de acoplamiento común. Otros componentes controlables de generación de potencia reactiva conectados al sistema colector también pueden usarse para controlar la distribución de potencia reactiva. Estos dispositivos pueden incluir bancos de capacitores insertables, compensadores estáticos de var y bancos de reactores situados estratégicamente dentro de varias secciones o ramas del parque eólico para influir en la distribución de corrientes reactivas y por tanto controlar pérdidas de potencia.

Las siguientes técnicas inventivas pueden incorporarse al sistema de control de planta eólica de General Electric denominado WindCONTROL (WFMS).

Se proporciona un algoritmo de optimización cuyo efecto técnico es determinar el comando de envío de VAR a cada generador de turbina eólica y toma de transformador de subestación que reduce las pérdidas totales dentro de cada alimentador en el sistema colector de parque eólico, maximizando así la salida de parque eólico. Aspectos de la invención son compatibles con una ampliación de la regulación de tensión y del factor de potencia de parque eólico. Se estima que las pérdidas se reducirán en un 2-3 % cuando el parque eólico esté funcionando a más o menos el 50 % de producción/consumo de VAR.

Esta técnica puede optimizar cualquier diseño de sistema colector de parque eólico. Desde el punto de vista matemático, un problema de optimización se describe generalmente minimizando una función objetivo $J(u, x)$ sujeta a algunas condiciones de limitación.

En notación matricial, esta operación puede expresarse como: Minimizar $J(u, x)$, sujeto a las limitaciones: $d(u, x) = 0$ y $e(u, x) \leq 0$ donde x representa variables de sistema (por ejemplo, tensiones de bus, factor de potencia); u representa variables de control (por ejemplo, potencia reactiva de generador de turbina eólica); $J(u, x)$ representa una función objetivo; $d(u, x)$ representa limitaciones de igualdad; y $e(u, x)$ representa limitaciones de desigualdad.

Un ejemplo de una función objetivo se proporciona en la Ecuación (3). Esta función se puede emplear en realizaciones de la presente invención para minimizar pérdidas de línea de distribución ($P_{PÉRDIDA}$) sujetas a mantener el factor de potencia en el punto de acoplamiento común de parque eólico (P_{OCC}). También puede ser deseable establecer una jerarquía de rendimiento, imponiendo una banda de tolerancia de tensión más apretada en un subconjunto de nodos. Aplicada a pérdidas en un sistema de parque eólico, la función de minimización se especifica en la Ecuación 4:

$$\text{Minimizar } J = \sum_{k=1}^n P_{Pérdida_k} \quad \text{Ecuación (4)}$$

en donde: $P_{PÉRDIDA}(S, V) = \left(\frac{V_{nominal}}{V}\right)^2 \cdot \left(\frac{S}{S_{nominal}}\right)^2 \cdot P_{LL-nominal} + \left(\frac{V}{V_{nominal}}\right)^N \cdot P_{NL-nominal}$ y sujeto a una limitación de sistema que el sistema PF sea 0,95 (sobreeexcitado).

Una comparación de optimización de acuerdo con un aspecto de la presente invención para la distribución de carga reactiva Q , con el fin de minimizar pérdidas, se muestra en la figura 4 para el sistema de parque eólico simple de la figura 3. El ejemplo se ilustra usando valores unitarios.

5 La figura 3 ilustra un sistema colector de parque eólico simplificado de tres generadores de turbina eólica con el fin de ilustrar una distribución de carga reactiva optimizada de acuerdo con un aspecto de la presente invención. La red simplificada 10 incluye tres generadores de turbina eólica 110, 120 y 130 que suministran cargas $S_5 = 0,33 + jQ_5$, $S_6 = 0,33 + jQ_6$, $S_7 = 0,33 + jQ_7$ de una demanda de potencia compleja total en S_1 140 de 1,0 PU a 0,95 factor de potencia (PF) en el POCC 1. Cada generador de turbina eólica alimenta el bus principal a través de transformadores idénticos 115, 125 y 135 con impedancias de $0,25 + j0,18$, dando como resultado pérdidas de transformador. Las salidas transformadas 145, 155, 165, de los generadores de turbina eólica 110, 120 y 130, respectivamente, están conectadas a líneas de sistema común en los buses 2, 3 y 4 y a un bus de conexión POCC 1 con la red eléctrica.

El sistema colector de parque eólico simplificado 10 causa pérdidas sin carga en transformadores 115, 125 y 135 y pérdidas de línea entre el bus 1 a 2, 2 a 3 y 3 a 4 dependiendo de la asignación del Q total a Q_5 , Q_6 y Q_7 entre los generadores de turbina eólica 110, 120 y 130.

15 Cuando la Ecuación 4 se aplica a la red 10 de la figura 3, sujeta a la limitación del suministro de potencia a 0,95 PF en el POCC 1, se generan los resultados de la figura 4.

20 La figura 4 ilustra una comparación de distribución de VAR y de distribución de tensión del sistema de la figura 3 con una distribución de VAR estándar y una distribución de VAR optimizada entre los generadores de turbina eólica. El eje vertical izquierdo representa valores de VAR PU y el eje vertical derecho representa la tensión PU, prevista para buses 1 a 5, como se indica en el eje horizontal. El Caso 1 representa el procedimiento estándar de la técnica anterior para obtener potencia reactiva igualmente entre los generadores de turbina eólica en los buses 5, 6 y 7. El Caso 2 representa valores optimizados de potencia reactiva en los buses 5, 6 y 7 de acuerdo con el algoritmo de minimización de pérdidas. En base a la determinación anterior, el sistema de la invención ordena a los generadores de turbina eólica 110, 120 y 130 que produzcan aproximadamente 0,28 VAR PU, 0,13 VAR PU y 0,06 VAR PU. Las salidas minimizadas de pérdida de los generadores de turbina eólica individuales en otra PU de suministro de potencia y factor de potencia se determinan de manera similar.

25 En la práctica, un parque eólico consiste en numerosos (a veces más de 100) generadores de turbina eólica individuales. Aunque la complejidad de tales sistemas es mayor que el ejemplo simple, el proceso de minimización para tal aplicación puede realizarse de manera similar. Simulaciones dinámicas y análisis de hoja de cálculo de la regulación de tensión han demostrado el concepto.

30 La figura 5 ilustra un sistema colector de parque eólico que emplea un algoritmo de minimización de pérdida, de acuerdo con la invención. El sistema colector de parque eólico 200 muestra tres generadores de turbina eólica 201, 202 y 203, sin embargo, el número de generadores de turbina eólica puede ampliarse en gran medida en aplicaciones prácticas. Los generadores de turbina eólica 201, 202 y 203 proporcionan salidas $P_1 + jQ_1$ (207), $P_2 + jQ_2$ (208) y $P_3 + jQ_3$ (209). Cada generador de turbina eólica 201, 202 y 203 se une a un bus colector 205 a través de un transformador de conexión de generador de turbina eólica 210, 211 y 212, respectivamente, donde el transformador presenta una impedancia Z_1 , Z_2 y Z_3 al sistema colector. Los transformadores de recogida de generador de turbina eólica 210, 211 y 212 pueden estar situados a diferentes distancias físicas 215, 216 y 217 del bus colector 205 que presenta una resistencia y una reactancia de línea diferente al sistema (Z_4 , Z_5 y Z_6). Una vía común para una o más cargas de generador de turbina eólica también puede presentarse al sistema colector tal como 218 (27) entre el bus colector 205 y el transformador principal de parque eólico 224. Aunque las impedancias se muestran con fines ilustrativos como elementos específicos, se reconoce que pueden representar elementos de línea distribuidos, que representan diferentes distancias de línea.

35 Además, en un sistema de este tipo, no ilustrado en la figura 5, se pueden combinar múltiples generadores de turbina eólica en diferentes longitudes a lo largo de diferentes patas y, a continuación, conectarse al bus colector 205. Otras configuraciones pueden incluir una topología dendrítica con una o más ramificaciones o redes en bucle. Aunque tales disposiciones son más complejas, se pueden realizar modelos de circuito para tales sistemas.

40 Con referencia de nuevo a la figura 5, el bus colector 205 se une a través de un punto de conexión común a una red de transmisión 225 a través del transformador principal de parque eólico 224. Unos dispositivos de detección 232 en el POCC 220 pueden proporcionar señales medidas de tensión, corriente, factor de potencia, potencia real y potencia reactiva a un sistema de control de parque eólico. Aunque no se muestran, pueden colocarse alternativamente dispositivos de detección en otros lugares distintos del POCC 220 para proporcionar mediciones de tensión y otras mediciones, que pueden referirse al POCC 220, como se conoce en la técnica. En una realización adicional, se pueden calcular señales en el punto de conexión común en base a mediciones o a un conocimiento de sistemas de parque eólico o a la impedancia de red. Además, se proporciona un sistema de control 270 para el parque eólico. Se proporciona un comando de referencia al sistema de control de parque eólico 270 para controlar la potencia real y reactiva. Sin embargo, solamente la señal de comando de referencia de carga reactiva Q_{REF} 230 y la señal de carga medida reactiva Q_M (medida) 235 se proporcionan al sumador 240. La salida del sumador 240 se proporciona a la función de control la función $H(s)$ 250 para determinar la distribución de carga reactiva a los

generadores de turbina eólica individuales. La función de control H(s) 250 incorpora un algoritmo de minimización de pérdida 248 cuyo efecto técnico es minimizar la pérdida de sistema colector de parque eólico mediante asignación de cargas reactivas Q₁ 251, Q₂ 252 y Q₃ 253 en base a pérdidas resultantes de pérdidas de transformador de conexión de generador de turbina eólica Z₁, Z₂ y Z₃, de pérdidas de línea Z₄, Z₅ y Z₆ y de pérdidas de línea Z₇.
 5 Además, el algoritmo de control de parque eólico puede estar sujeto a varias limitaciones, una de las cuales puede ser un factor de potencia de aproximadamente 0,95 en el POCC.

En un parque eólico en el que existe capacidad de cambio de toma en carga en el transformador principal a la red, el control de tensión puede emplearse de manera similar para minimizar pérdidas. En este caso, puede emplearse el procedimiento estándar para una distribución igual de VARS a todos los generadores de turbina eólica, aunque la
 10 tensión en el colector de parque eólico puede controlarse para minimizar pérdidas. Este enfoque puede emplearse siempre que la capacidad de cambio de toma en carga permita que la tensión de colector deseada se adapte a la tensión de circuito requerida del POCC.

El algoritmo de minimización de la presente invención puede determinarse en base a que los comandos de carga reactiva Q₁ 251, Q₂ 252 y Q₃ 253 sean dirigidos igualmente a cada generador de turbina eólica (201, 202, 203).
 15 Alternativamente, el algoritmo de minimización de pérdida puede combinar la técnica de distribución de VAR y la técnica de optimización de tensión.

La figura 6 ilustra un sistema colector de parque eólico con control de cambio de toma en carga que emplea un algoritmo de minimización de pérdida, de acuerdo con la invención. El sistema colector de parque eólico con capacidad de cambio de toma en carga 290 está configurado de una manera similar al de la figura 5. Los números
 20 de referencia de la figura 5 se han mantenido donde los componentes y las funciones se modifican. Tres generadores de turbina eólica 201, 202 y 203 proporcionan salidas P₁ + jQ₁ (207), P₂ + jQ₂ (208) y P₃ + jQ₃ (209) a un sistema cuyas pérdidas pueden ser diseñadas incluyendo: pérdidas de transformador sin carga en transformadores de conexión de generador de turbina eólica 210, 212 y 213; pérdidas de carga de transformador de Z₁, Z₂ y Z₃; pérdidas de línea de Z₄, Z₅ y Z₆ y pérdidas de línea común de Z₇. Aunque las impedancias se muestran
 25 con fines ilustrativos como elementos específicos, se reconoce que pueden representar elementos de línea distribuidos, que representan diferentes distancias de línea.

La figura 6 ilustra además un sistema de control de parque eólico 270 que incluye una función de control H(s) 250 que determina un ajuste de tensión de sistema optimizado basado en minimizar pérdidas de sistema. Según un
 30 algoritmo de minimización de pérdida 249, se determina una tensión V_c223 en el lado del bus colector del transformador principal de parque eólico 224 que minimiza pérdidas de sistema descritas anteriormente, sujetas a las limitaciones de salida de parque eólico 245 de potencia real y reactiva (P_{WF} y Q_{WF}, respectivamente) en el POCC 220. La minimización de pérdida de tensión en 223 corresponde a una tensión medida V_{WF}255 en la salida de transformador principal 222 reflejada a través de las características del transformador 224. H(s) 250 proporciona la
 35 señal de minimización de pérdida de tensión V_{LM}265, V_{LM}265 y la señal de retroalimentación V_{WF} 255 se proporcionan al control de cambio de toma en carga 290. El cambiador de toma en carga 290 regula los ajustes de toma de tensión en el transformador principal de parque eólico para establecer la optimización de pérdida de tensión en la entrada 223 al transformador principal de parque eólico 224. El algoritmo de minimización de pérdida 249 estará sujeto a la limitación de que la tensión (V₁, V₂, V₃) en la salida de cada generador de turbina eólica debe estar dentro de límites de funcionamiento para ese dispositivo; por ejemplo, 0,9 a 1,1 veces la tensión nominal.

La figura 7 ilustra un organigrama de un procedimiento para minimizar las pérdidas de sistema colector a través de un algoritmo que asigna carga reactiva a generadores de turbina eólica individuales, fuera del ámbito de aplicación de la invención. Inicialmente, en la etapa 710, las pérdidas de sistema colector de parque eólico se diseñan en función de la resistencia R, la reactancia X, la conductancia no lineal G, la susceptancia B, la tensión y la carga real y reactiva. En la etapa 720, se proporcionan limitaciones de sistema, que incluyen factores tales como requisitos de
 45 flujo de potencia, de factor de potencia y de tensión. En la etapa 730, un comando de tensión o potencia reactiva de parque eólico es recibido por los controles. En la etapa 740, la potencia reactiva detectada en el POCC es recibida por los controles de sistema. El comando de potencia reactiva de parque eólico y la potencia reactiva detectada se comparan en la etapa 750. En la etapa 750, los comandos de potencia de reactor se asignan a los generadores de turbina eólica individuales de acuerdo con el algoritmo de minimización de pérdida. En la etapa 760, los comandos individuales de potencia reactiva se transmiten a los generadores de turbina eólica individuales. La figura 8 ilustra un organigrama de un procedimiento para minimizar la pérdida de sistema colector a través de un algoritmo para establecer una tensión optimizada en el lado de sistema colector del transformador principal de parque eólico, fuera del ámbito de aplicación de la invención. Inicialmente, en la etapa 810, las pérdidas de sistema colector de parque eólico se diseñan en función de la resistencia R, la reactancia X, la conductancia no lineal G, la susceptancia B, la
 55 tensión y la carga real y reactiva. En la etapa 820, se proporcionan limitaciones de sistema, que incluyen factores tales como rango de tensiones en la salida de los generadores de turbina eólica. En la etapa 830, una potencia real y reactiva de parque eólico en el POCC es recibida por el controlador de sistema. En la etapa 840, la salida de tensión detectada en el POCC es recibida por el controlador de sistema. En la etapa 850, la tensión óptima en el lado de bus colector del transformador principal se determina de acuerdo con el algoritmo de minimización de
 60 pérdidas, sujeto a limitaciones de sistema. En la etapa 870, el cambiador de toma en carga del transformador principal se controla para establecer la tensión óptima para la minimización de pérdida.

Los parques eólicos anteriores han sido equipados con controladores de parque eólico que regulan las cantidades de factor de tensión y de potencia de POCC, pero ninguno construido hasta la fecha ha incorporado procedimientos para regular estas cantidades de sistema y optimizar las pérdidas al mismo tiempo.

- 5 Un aspecto de la presente invención (aplicable a sistemas de colector de parque eólico con cambiadores de toma en carga para el transformador principal de parque eólico) incorpora un algoritmo que determina una tensión óptima para minimizar pérdidas y luego controla el cambiador de toma para establecer la tensión óptima. Un segundo aspecto de la presente invención incorpora un algoritmo que tiene en cuenta la impedancia de sistema colector y hace funcionar selectivamente cada turbina a una salida de VAR diferente mientras mantiene aún la salida requerida medida en el POCC. Ambos enfoques permiten reducir las pérdidas de sistema sin necesidad de hardware de sistema adicional.
- 10

Aunque solo se han ilustrado y descrito aquí ciertas características de la invención, a los expertos en la técnica se les ocurrirán muchas modificaciones y cambios. El ámbito de aplicación de la invención está definido por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de parque eólico (200) para minimizar pérdida eléctrica que comprende:

- una pluralidad de generadores de turbina eólica (201, 202, 203);
- un sistema colector que incluye al menos un primer conductor (223) y una red de otros conductores (215, 216, 217) y un bus colector (205), al que el al menos primer conductor y la red de otros conductores están conectados;
- una pluralidad de transformadores (210, 211, 212), que incluye al menos un transformador conectado entre cada generador de turbina eólica (201, 202, 203) y otro conductor correspondiente de la red de otros conductores (215, 216, 217), estando los conductores conectados también al bus colector (205);
- un transformador de subestación conectado al bus colector (205) a través del al menos primer conductor (218), para conectar el sistema colector (205) a una red eléctrica (225);
- un sistema de supervisión (232) que incluye al menos uno que supervisa la salida eléctrica de parque eólico (245) y el estado térmico, y salidas (207, 208, 209) de los generadores de turbina eólica individuales (201, 202, 203);
- un sistema de control (270) que incluye comandos de tensión y de potencia real y reactiva (251, 250, 253) para los generadores de turbina eólica individuales (201, 202, 203);

caracterizado porque:

el controlador está configurado para ejecutar un algoritmo (220) cuyo efecto técnico es minimizar pérdidas eléctricas para el sistema colector de parque eólico (200) mediante asignación de cargas reactivas correspondientes (Q1 251, Q2 252, Q3 253) en base a pérdidas que resultan de impedancias de transformador de conexión de generador de turbina eólica (Z1, Z2, Z3), de pérdidas de línea de cada red de otros conductores (Z4, Z5, Z6) y de pérdidas de línea del al menos primer conductor (Z7).

2. El sistema de parque eólico (200) para minimizar pérdida eléctrica de acuerdo con la Reivindicación 1, comprendiendo el al menos uno de un conductor (223) y la red de conductores (215, 216, 217):

una configuración radial, una configuración dendrítica y una configuración en bucle.

3. El sistema de parque eólico (200) para minimizar pérdida eléctrica de acuerdo con cualquiera de las Reivindicaciones anteriores, en el que las pérdidas eléctricas minimizadas comprenden:

- una pérdida de conducción; y
- una pérdida sin carga (por excitación).

4. El sistema de parque eólico (200) para minimizar pérdida eléctrica de acuerdo con cualquiera de las Reivindicaciones anteriores, en el que las pérdidas eléctricas minimizadas están sujetas a limitaciones que comprenden:

mantener al menos uno de un factor de potencia, un flujo de potencia y tensión en el punto de acoplamiento común (220).

5. El sistema de parque eólico (200) para minimizar pérdida eléctrica de acuerdo con cualquiera de las Reivindicaciones anteriores, comprendiendo además el sistema:

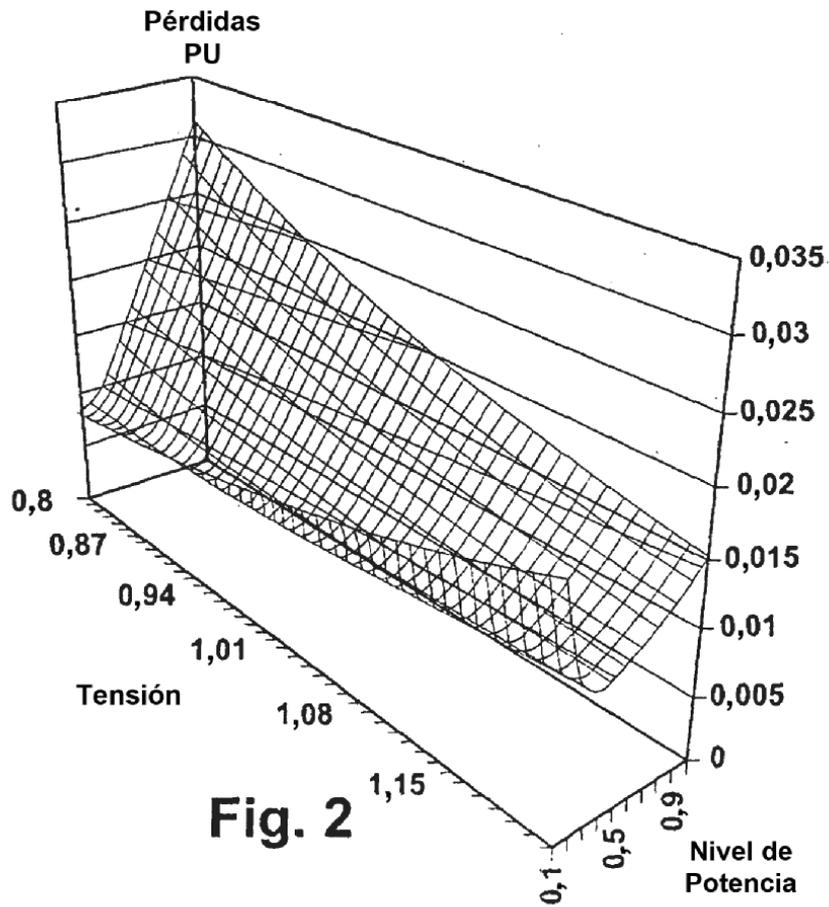
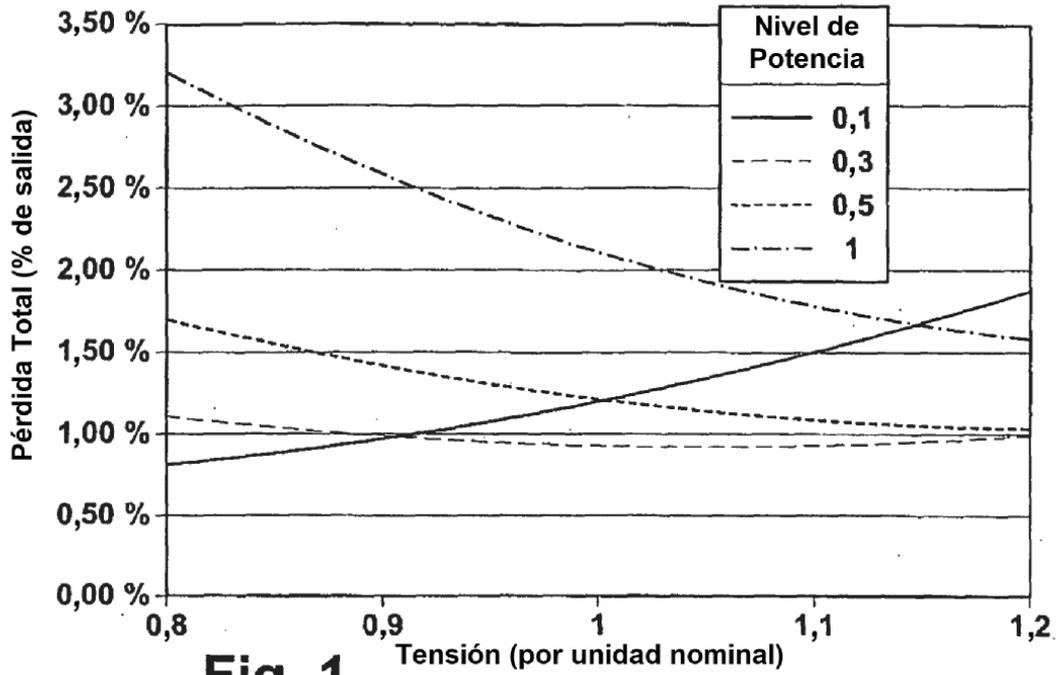
una subestación con un cambiador de toma de transformador controlado (290).

6. El sistema de parque eólico (200) para minimizar pérdida eléctrica de acuerdo con cualquiera de las Reivindicaciones anteriores, comprendiendo el algoritmo (249):

una determinación de tensión optimizada en el lado de sistema colector (223) del transformador de cambio de toma (224) para minimizar pérdida eléctrica.

7. El sistema de parque eólico (200) para minimizar pérdida eléctrica de acuerdo con cualquiera de las Reivindicaciones anteriores, en el que las pérdidas eléctricas minimizadas están sujetas a limitaciones que comprenden:

mantener al menos uno de un factor de potencia, un flujo de potencia y una tensión en el punto de acoplamiento común (220) y dentro del rango de tensiones del generador de turbina eólica (201, 202, 203).



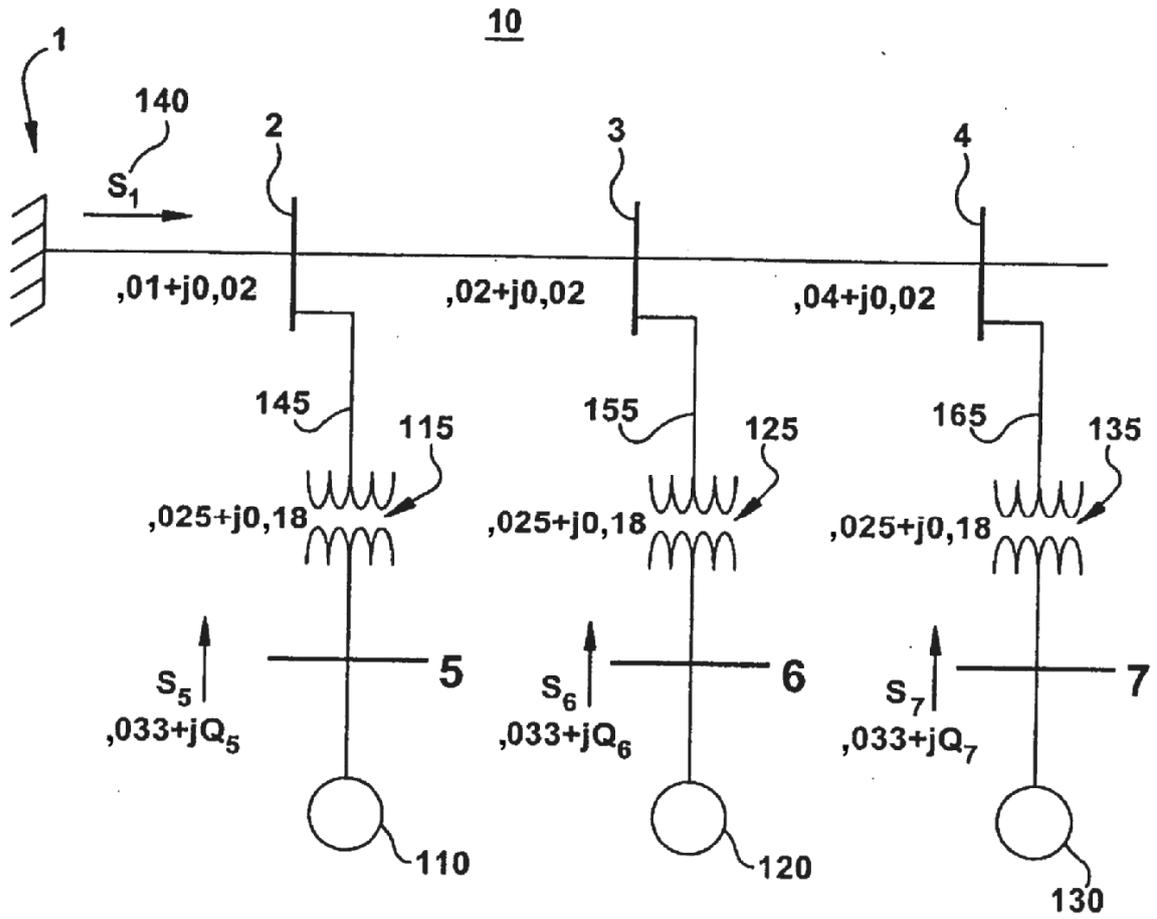


Fig. 3

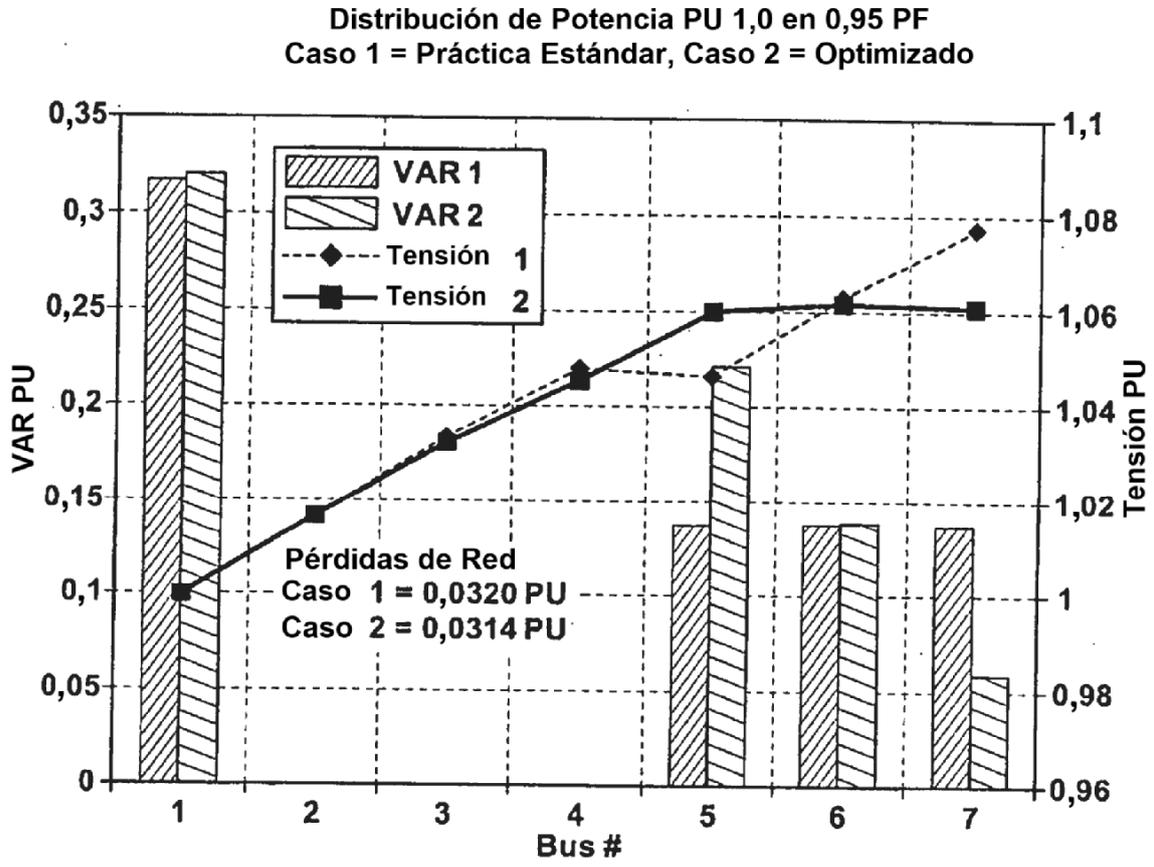


Fig. 4

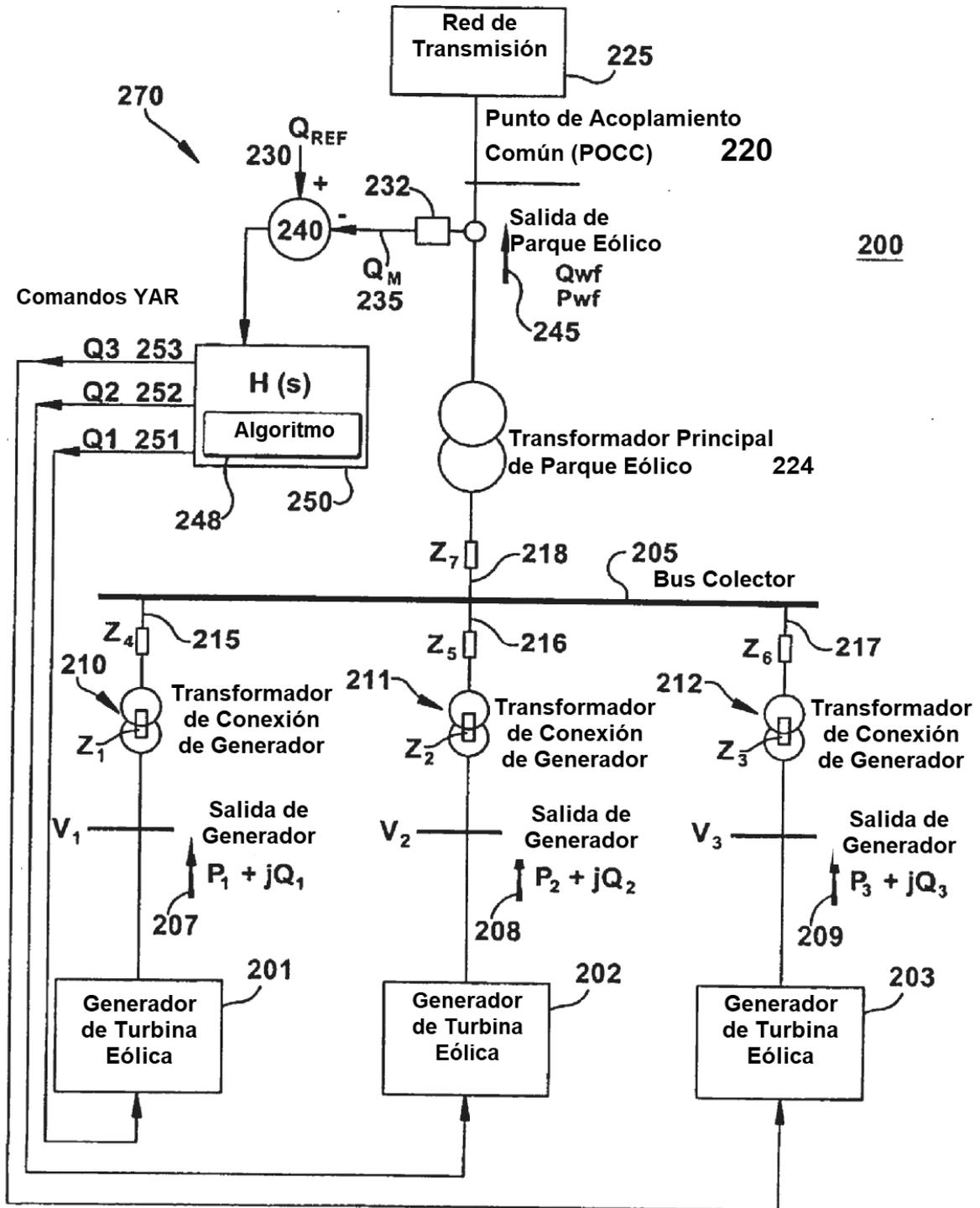


Fig. 5

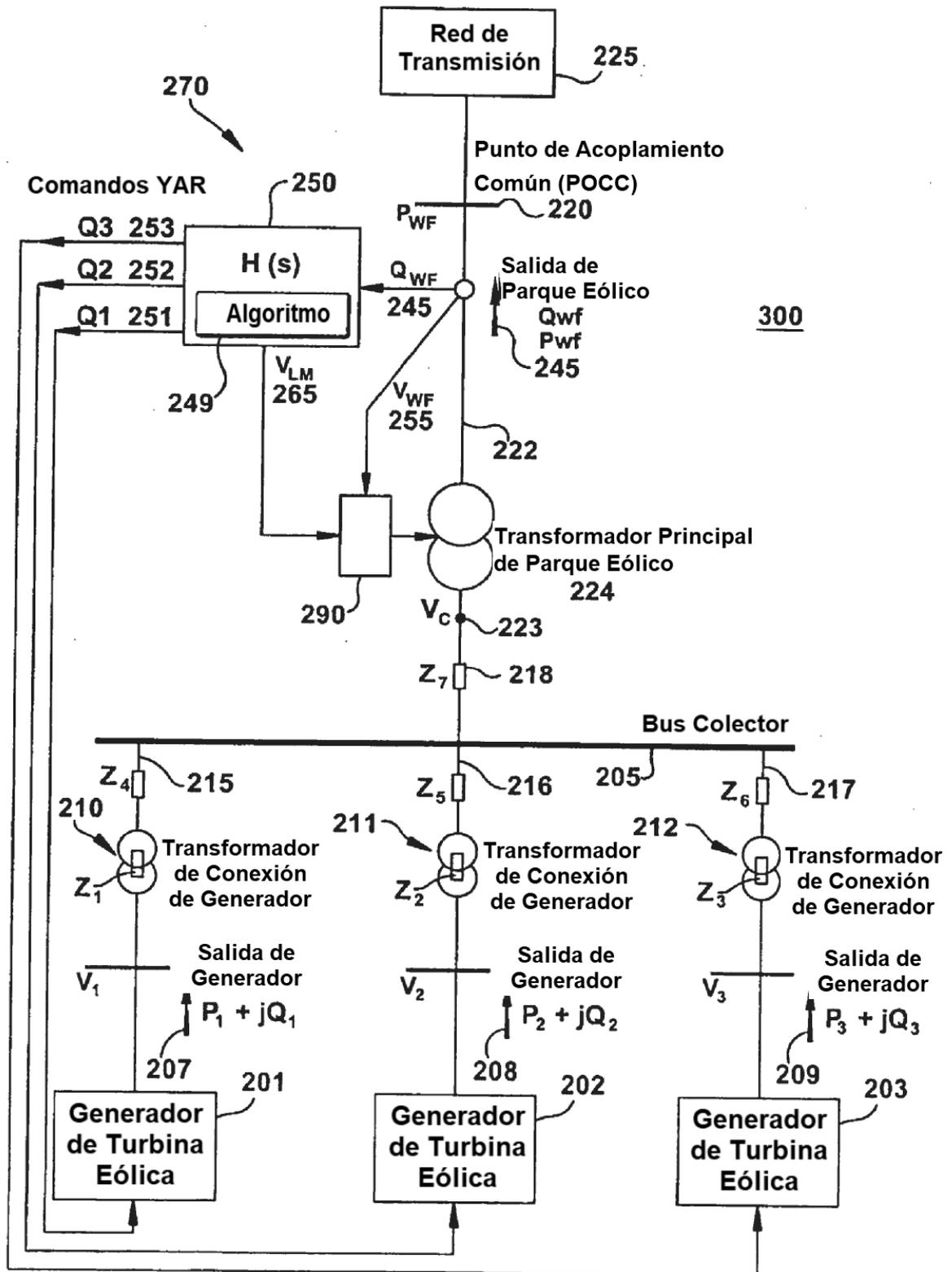


Fig. 6

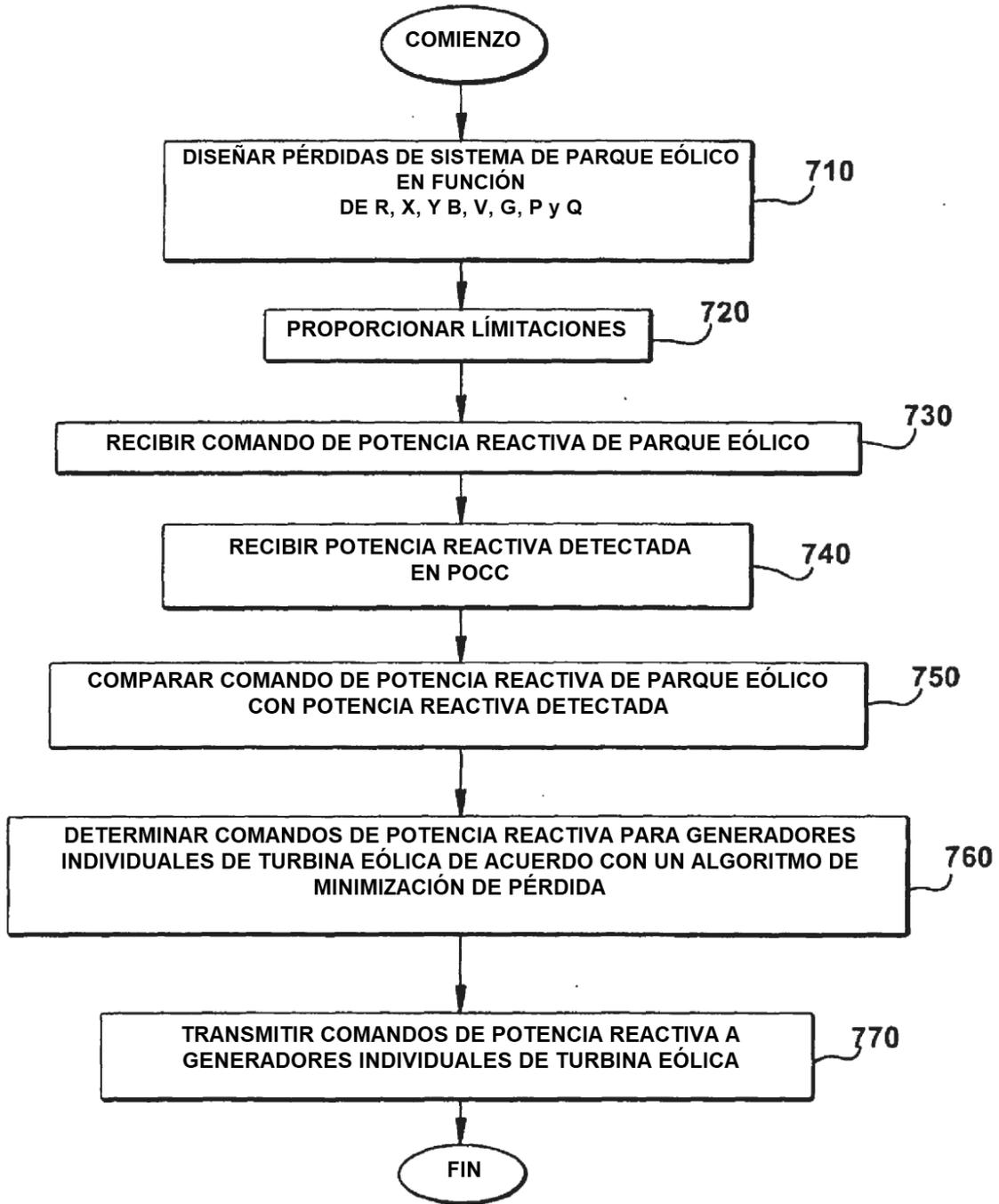


Fig. 7

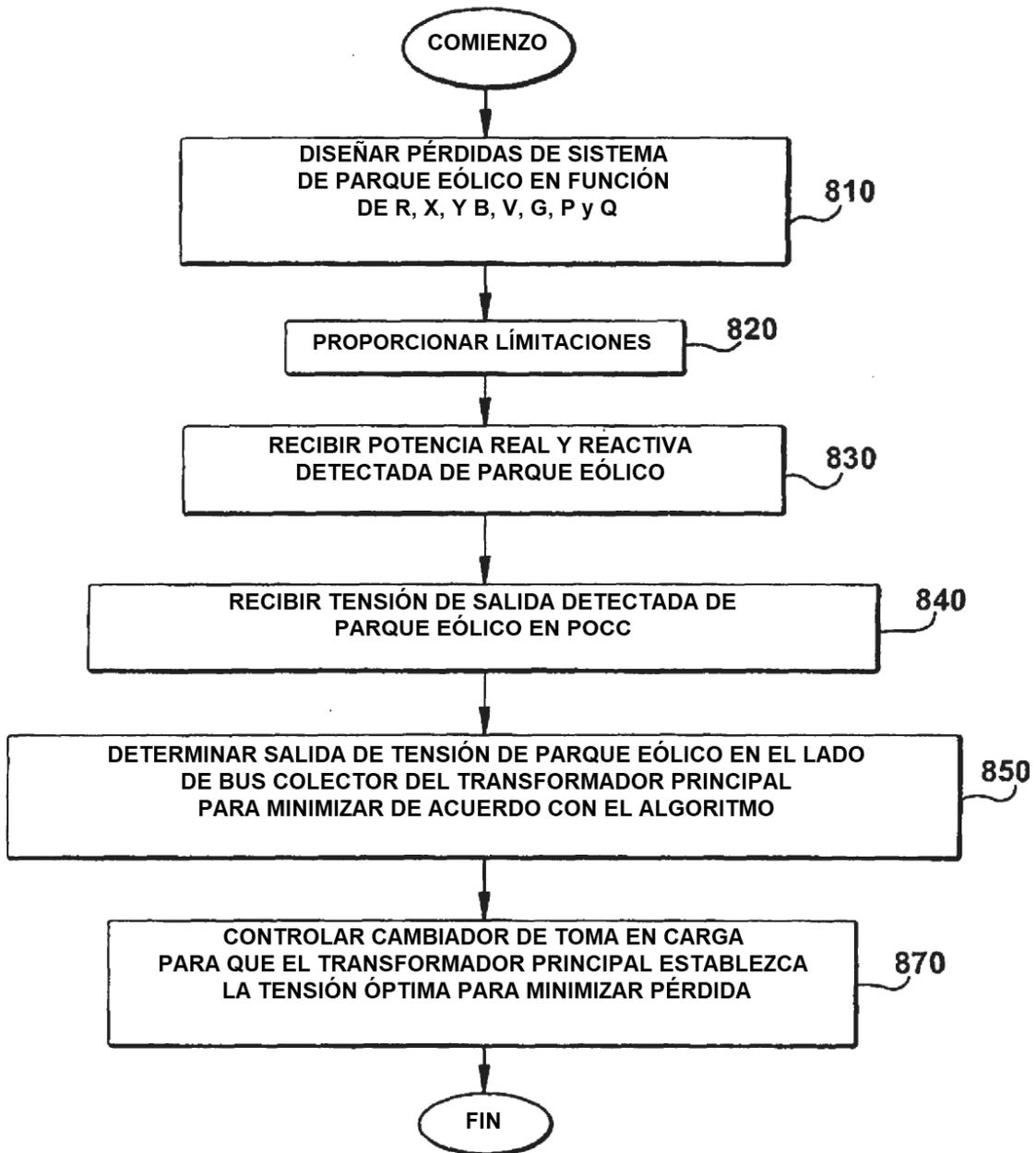


Fig. 8