

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 734 371**

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 17179298 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **10.04.2019** **EP 3255751**

54 Título: **Optimización de pérdidas de un sistema colector de un parque eólico**

30 Prioridad:

28.02.2008 US 39028

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

05.12.2019

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

CONTRERAS PÉREZ, Yahel

ES 2 734 371 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 pérdidas de un sistema colector de un parque eólico

5 La invención se refiere, en general, al control de pérdidas de potencia en un parque eólico y, más concretamente, a un sistema y un procedimiento para distribuir carga reactiva y optimización de tensión en un parque eólico para la reducción de pérdidas de un sistema colector.

10 Se prevé que los aerogeneradores llegarán a ser una fuente de energía cada vez mayor en todo el mundo, en función de su captación de una fuente de energía renovable que no emite gases a base de carbono. Sin embargo, el desarrollo de sistemas de aerogeneradores se encuentra todavía en las primeras etapas en relación con tecnologías competidoras. Más específicamente, el control del sistema para grupos de aerogeneradores, o parques eólicos, controlados conjuntamente se encuentra todavía en una fase muy temprana. Las técnicas actuales de control de parques eólicos están relacionadas, en general, con el control de la tensión y/o el control de potencia real y reactiva, ya sea en la turbina individual o en un punto de captación común para el sistema. La eficiencia del sistema, en base a la reducción de pérdidas, generalmente no se ha considerado en dichos esquemas de control. Véase, por ejemplo, WO 2006/120033, EP 1 508 951 y EP 1 512 869.

20 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 del colector, que son proporcionales a la tensión elevada a un exponente. Este exponente es siempre mayor de dos. Empíricamente, el exponente es típicamente cerca de tres.

25 La pérdida de carga $P_{LL}(S, V)$, a veces conocida como pérdida de conducción o pérdida de "cobre" en cualquier salida de potencia compleja S y tensión V de un parque eólico, está relacionada con la pérdida de carga $P_{LL-nominal}$ en la salida de potencia nominal $S_{nominal}$ y tensión nominal $V_{nominal}$ mediante la ecuación 1.

$$P_{LL}(S, V) = \left(\frac{V_{nominal}}{V} \right)^2 \cdot \left(\frac{S}{S_{nominal}} \right)^2 \cdot P_{LL-nominal} \quad \text{Ecuación (1)}$$

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

$$P_{NL}(V) = \left(\frac{V}{V_{nominal}} \right)^N \cdot P_{NL-nominal} \quad \text{Ecuación (2)}$$

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

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

$$P_{PÉRDIDA}(S, V) = \left(\frac{V_{nominal}}{V} \right)^2 \cdot \left(\frac{S}{S_{nominal}} \right)^2 \cdot P_{LL-nominal} + \left(\frac{V}{V_{nominal}} \right)^N \cdot P_{NL-nominal} \quad \text{Ecuación (3)}$$

45 La pérdida puede minimizarse mediante una selección optimizada de V . Esto determinarse mediante la diferenciación de la Ecuación (3) respecto a V , y resolviendo el valor de V donde esta primera derivada es cero.

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

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

Por consiguiente, existe la necesidad de un procedimiento para que el control del sistema reduzca las pérdidas a través de la optimización de la distribución de la carga reactiva y el control de tensión que, al mismo tiempo, mantenga esencialmente el mismo equipo físico y la misma estructura de control para el sistema.

60

Por consiguiente, diversos aspectos de la presente invención se refieren a un sistema de parque eólico que está optimizado para minimizar pérdidas eléctricas y a un procedimiento para minimizar pérdidas eléctricas en el sistema de parque eólico.

5 La presente invención se da así, tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

Varias características, aspectos y ventajas de la presente invención se entenderán mejor al leer la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos adjuntos en los cuales símbolos similares representan partes similares en todos los dibujos, en los cuales:

10 La figura 1 es una gráfica que ilustra la variación de la pérdida total de potencia con el nivel de tensión para diferentes niveles de potencia;
La figura 2 es una gráfica tridimensional que ilustra la variación de la pérdida total de potencia con el nivel de tensión para diferentes niveles de potencia;
15 La figura 3 ilustra un sistema de parque eólico simple de tres aerogeneradores con el fin de ilustrar una distribución de carga reactiva de optimización para minimizar las pérdidas de acuerdo con una realización de la presente invención;
La figura 4 ilustra una comparación de tensión y distribución de VAR en un sistema de parque eólico simple con una distribución de VAR estándar frente a una distribución de VAR optimizada entre los aerogeneradores;
20 La figura 5 ilustra un sistema colector de un parque eólico de ejemplo que emplea un algoritmo de minimización de pérdidas;
La figura 6 ilustra un sistema de ejemplo de un colector de parque eólico con control de cambio de tomas de carga que emplea un algoritmo de minimización de pérdidas;
La figura 7 ilustra un diagrama de flujo para un procedimiento para minimizar pérdidas del sistema colector a través de un algoritmo para la asignación de carga reactiva a aerogeneradores individuales; y
25 La figura 8 ilustra un diagrama de flujo para un procedimiento para minimizar pérdidas de un sistema colector a través de un algoritmo para establecer una tensión optimizada en el lado del sistema colector del transformador principal del parque eólico.

30 Varias de las presentes realizaciones presentan muchas ventajas, incluyendo la reducción de pérdidas de potencia de un parque eólico a través de la optimización de la distribución de carga reactiva y el control de la tensión del sistema sin necesidad de cambios de hardware del sistema.

Las corrientes que pasan por un sistema colector de parque eólico generan pérdidas debido a la resistencia eléctrica del sistema. Un sistema colector de parque eólico está configurado como un conductor largo con aerogeneradores conectados en paralelo a lo largo de su longitud. El conductor puede ser en una configuración radial simple, en una topología dendrítica con una o más ramificaciones, o en una configuración en bucle. Los aerogeneradores que están más alejados de la subestación o punto de conexión común transmiten su potencia a una distancia mayor y, por lo tanto, muestran pérdidas de potencia más reales y reactivas que las turbinas más cercanas al punto de conexión común. Además, la corriente es inversamente proporcional a la tensión para una potencia constante. Al aumentar la
40 tensión del sistema colector se requiere menos corriente para entregar la misma potencia. Las pérdidas en conductores en cables y transformadores son proporcionales al cuadrado de la magnitud actual. Si es posible aumentar la tensión del sistema colector, pueden reducirse las pérdidas del conductor. Los aerogeneradores se conectan al sistema colector a través de transformadores, que tienen pérdidas de excitación que son independientes de la carga, pero que aumentan con la tensión a una potencia exponencial mayor que dos. En condiciones de poca
45 carga, las pérdidas eléctricas del parque eólico están dominadas por las pérdidas por excitación del transformador. Bajo unos niveles de carga elevados, las pérdidas de conductor dominan. Por lo tanto, la optimización de las asignaciones de producción de VAR a los aerogeneradores individuales y la optimización de la tensión del sistema colector reducen las pérdidas del sistema colector. Minimizar estas pérdidas produce una mayor producción de energía suministrada a la red eléctrica y, por lo tanto, un aumento de los ingresos para el propietario del parque eólico.

50 En un primer enfoque, el objetivo es administrar el nivel de tensión del parque eólico de manera que se minimice la pérdida total. A los efectos de esta descripción, no se consideran variaciones en la magnitud de la tensión dentro del sistema colector del parque eólico, ni la optimización de la salida de potencia reactiva del aerogenerador. Este concepto puede incorporarse en diversas realizaciones de la presente invención mediante el uso de un cambiador de
55 tomas de carga en el transformador de la subestación del parque eólico, permitiendo regular la tensión del sistema colector independiente de la tensión de la red. Una restricción principal es que la tensión en cada aerogenerador debe encontrarse dentro de los límites operativos para ese dispositivo; por ejemplo, entre 0,9 y 1,1 veces la tensión nominal. Un requisito de funcionalidad para dicho control es que el transformador de la subestación ha tener un rango de tomas suficiente para proporcionar una relación que coincida con la tensión del sistema colector optimizado con la tensión
60 de la red eléctrica. El primer enfoque puede aplicarse con un transformador de subestación de aerogeneradores con capacidad de cambio de tomas de carga que permita ajustar la tensión del colector independientemente de la tensión de la red. En este enfoque, la tensión del colector está optimizada para equilibrar la compensación entre el cable y las pérdidas de carga del transformador y las pérdidas del núcleo del transformador. Bajo una carga ligera, se reduce la

tensión para minimizar pérdidas del núcleo, y bajo una carga pesada, se aumenta la tensión para reducir la corriente para la misma potencia reduciéndose, de este modo, las pérdidas de conductores óhmicos. Este primer enfoque también puede utilizarse cuando no está disponible la capacidad de cambio de tomas de carga, regulando la tensión del colector utilizando la capacidad reactiva del aerogenerador donde no se requiere el factor de potencia del parque eólico o la regulación de tensión. Se dispone un algoritmo cuyo efecto técnico es minimizar las pérdidas eléctricas para el parque eólico mediante el control de la tensión del 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 tensión del sistema colector y la distribución de la producción de potencia reactiva. En una realización de este enfoque, la producción de VAR del parque eólico total se despacha con prioridad a los aerogeneradores que se encuentran más cerca del punto de conexión común. También pueden utilizarse otros componentes de generación de energía reactiva controlables conectados al sistema colector para controlar la distribución de la energía reactiva. Estos dispositivos pueden incluir bancos de condensadores insertables, compensadores de VAR estáticos, y bancos de reactores situados estratégicamente dentro de varias secciones o ramificaciones del parque eólico para influir en la distribución de corrientes reactivas y controlar, de este modo, las pérdidas de potencia.

Las siguientes técnicas de la invención pueden incorporarse en el sistema de control de plantas eólicas WindCONTROL (WFMS) de General Electric.

Se presenta un algoritmo de optimización cuyo efecto técnico es determinar el comando de despacho de VAR a cada aerogenerador y la toma del transformador de la subestación que reduce las pérdidas totales dentro de cada alimentador en el sistema colector del parque eólico, maximizando así la producción del parque eólico. Aspectos de la invención son compatibles con la regulación del factor de potencia y la tensión del parque eólico y son una extensión a las mismas. Se estima que las pérdidas se reducirán en un 2-3% cuando el parque eólico funciona alrededor de un 50% de la producción/consumo de VAR.

Esta técnica puede optimizar cualquier diseño de sistema de colector eólico. Matemáticamente, un problema de optimización se describe generalmente minimizando una función objetivo $J(u, x)$ sujeta a algunas condiciones de restricción.

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

En la Ecuación (3) se da un ejemplo de una función objetivo. Esta función puede utilizarse en realizaciones de la presente invención para minimizar pérdidas de línea de distribución ($P_{PÉRDIDA}$) sujeto al mantenimiento del factor de potencia en el punto de conexión común del parque eólico (POCC). También puede ser conveniente establecer una jerarquía de rendimiento, aplicando una banda de tolerancia de tensión más estricta en un subconjunto de nodos. Aplicada a pérdidas en un sistema de parque eólico, la función de minimización se especifica en la Ecuación 4:

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

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 restricción del sistema de que el PF del sistema sea 0,5 (sobre excitado).

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

La figura 3 ilustra un sistema colector de parque eólico simplificado de tres aerogeneradores con el propósito de ilustrar una distribución de carga reactiva de optimización de acuerdo con un aspecto de la presente invención. La red simplificada 10 incluye tres aerogeneradores 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 a S_1 140 de 1,0 PU a un factor de potencia (PF) de 0,95 en el POCC 1. Cada aerogenerador alimenta el bus principal a través de transformadores idénticos 115, 125 y 135 con impedancias de $0,25 + j0,18$, lo que produce pérdidas en el transformador. Las salidas transformadas 145, 155, 165, de los aerogeneradores 110, 120 y 130 respectivamente, están conectadas a líneas comunes del sistema en buses 2, 3 y 4 y a un bus de conexión POCC 1 con la red.

El sistema colector de parque eólico simplificado 10 incurre en pérdidas sin carga en los 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 total Q a Q_5 , Q_6 y Q_7 entre los aerogeneradores 110, 120 y 130.

- 5 Si se aplica la Ecuación 4 a la red 10 de la figura 3, sujeto a la restricción de suministro de potencia a un PF de 0,95 en el POCC 1, los resultados se generan en la figura 4.

La figura 4 ilustra una comparación de la distribución de VAR y la distribución de tensión del sistema de la figura 3 con una distribución de VAR estándar y una distribución de VAR optimizada entre los aerogeneradores. El eje vertical de la izquierda son valores de VAR de PU y el eje vertical de la derecha es la tensión de PU, proporcionados para buses 1 al 5 tal como se designa en el eje horizontal. El caso 1 representa el procedimiento estándar de la técnica anterior para extraer la potencia reactiva por igual entre los aerogeneradores en los buses 5, 6 y 7. El caso 2 representa valores optimizados de la potencia reactiva en los buses 5, 6 y 7 según el algoritmo para minimizar las pérdidas. En base a la determinación anterior, el sistema de la invención envía instrucciones a los aerogeneradores 110, 120 y 130 para que produzcan aproximadamente 0,28 PU VAR, 0,13 PU VAR y 0,06 PU VAR. De manera similar, se determinan salidas minimizadas de pérdida de los aerogeneradores individuales en otra PU de suministro de potencia y factor de potencia.

En la práctica, un parque eólico consiste en numerosos aerogeneradores individuales (a veces más de 100). Si bien la complejidad de dichos sistemas es mayor que en el ejemplo simple, el proceso de minimización para dicha aplicación puede realizarse de manera similar. Simulaciones dinámicas y análisis en hojas de cálculo de la regulación de tensión han demostrado el concepto.

La figura 5 ilustra un sistema de ejemplo de un colector de un parque eólico que emplea un algoritmo de minimización de pérdidas. El sistema colector del parque eólico 200 muestra tres aerogeneradores 201, 202 y 203, sin bien el número de aerogeneradores puede extenderse ampliamente en la aplicación práctica. Los aerogeneradores 201, 202 y 203 proporcionan salidas $P_1 + jQ_1$ (207), $P_2 + jQ_2$ (208) y $P_3 + jQ_3$ (209). Cada aerogenerador 201, 202 y 203 está conectado a un bus colector 205 a través de un transformador de conexión de aerogenerador 210, 211 y 212, respectivamente, en el que el transformador presenta una impedancia Z_1 , Z_2 y Z_3 al sistema colector. Los transformadores de captación de los aerogeneradores 210, 211 y 212 pueden estar situados a distancias físicas variables 215, 216 y 217 del bus de captación 205, presentando diferentes resistencia y reactancia de línea al sistema (Z_4 , Z_5 y Z_6). También puede presentarse una trayectoria común para una o más cargas del aerogenerador al sistema colector, tal como 218 (Z7) entre el bus de captación 205 y el transformador principal del parque eólico 224. Aunque las impedancias se muestran con fines ilustrativos como elementos discretos, se reconoce que pueden representar elementos de línea distribuidos que representen distancias de línea variables.

Además, en un sistema de este tipo, aunque no se ilustra en la figura 5, pueden combinarse varios aerogeneradores en diferentes longitudes a lo largo de diferentes tramos y conectarse después al bus colector 205. Otras configuraciones pueden incluir una topología dendrítica con una o más ramificaciones o redes en bucle. Si bien tales disposiciones son más complejas, puede realizarse el modelado de circuitos para tales sistemas.

Haciendo referencia de nuevo a la figura 5, el bus colector 205 está conectado a través de un punto de conexión común a una red de transmisión 225 a través del transformador principal del parque eólico 224. Unos dispositivos de detección 232 en el POCC 220 pueden proporcionar tensión medida, corriente, factor de potencia, potencia real y señales de potencia reactiva a un sistema de control de un parque eólico. Si bien no se muestran, los dispositivos de detección pueden estar situados alternativamente en otras posiciones que no sean el POCC 220 para proporcionar tensión y otras mediciones, que puedan referirse al POCC 220 tal como se conoce en la técnica. En otra realización, las señales en el punto de conexión común pueden calcularse en base a mediciones del sistema de parque eólico y en el conocimiento de la impedancia de la red. Además, se dispone un sistema de control 270 para el parque eólico. Se envía un comando de referencia al sistema de control del parque eólico 270 para el control de la potencia real y reactiva. Sin embargo, al sumador 240 solamente se envía la señal de comando de referencia de carga reactiva Q_{REF} 230 y la señal de carga medida reactiva Q_M (medida) 235. La salida del sumador 240 se envía a una función de control $H(s)$ 250 para determinar una distribución de carga reactiva a los aerogeneradores individuales. La función de control $H(s)$ 250 incorpora un algoritmo de minimización de pérdidas 248 cuyo efecto técnico es minimizar pérdidas del sistema colector del parque eólico mediante la asignación de cargas reactivas Q_1 251, Q_2 252 y Q_3 253 en base a pérdidas que resultan de pérdidas del transformador de conexión del aerogenerador Z_1 , Z_2 y Z_3 , de pérdidas de línea Z_4 , Z_5 y Z_6 y pérdidas de línea Z_7 . Además, el algoritmo de control del parque eólico puede estar sujeto a varias restricciones, una de las cuales puede ser un factor de potencia de aproximadamente 0,95 en el POCC.

En un parque eólico donde existe una capacidad de cambio de tomas de carga en el transformador principal a la red, puede ejercerse un control de la tensión de manera similar para minimizar las pérdidas. En este caso, puede utilizarse el procedimiento estándar para una distribución equitativa de VARS para todos los aerogeneradores, pero la tensión en el colector del parque eólico puede controlarse para minimizar pérdidas. Este enfoque puede emplearse siempre

que la capacidad de cambio de tomas de carga permita que la tensión del colector deseada coincida con la tensión de red requerida del POCC.

El algoritmo de minimización de la presente invención puede determinarse en base a comandos de carga reactiva Q_1 251, Q_2 252 y Q_3 253 estando ordenados de manera igual para cada aerogenerador (201, 202, 203). Alternativamente, el algoritmo de minimización de pérdidas puede combinar la técnica de distribución de VAR y la técnica de optimización de tensión.

La figura 6 ilustra un sistema colector de un parque eólico de ejemplo con control de cambio de tomas de carga que emplea un algoritmo de minimización de pérdidas. El sistema colector del parque eólico con capacidad de cambio de tomas de carga 290 está configurado de manera similar a la de la figura 5. Los números de referencia de la figura 5 se han conservado si los componentes y las funciones no han variado. Tres aerogeneradores 201, 202 y 203 proporcionan salidas $P_1 + jQ_1$ (207), $P_2 + jQ_2$ (208) y $P_3 + jQ_3$ (209) a un sistema cuyas pérdidas pueden modelarse como que incluyen: pérdidas de transformador sin carga en transformadores de conexión del aerogenerador 210, 212 y 213; pérdidas de carga del transformador de Z_1 , Z_2 y Z_3 ; pérdidas de línea de Z_4 , Z_5 y Z_6 y pérdidas de línea común de Z_7 . Si bien las impedancias se muestran con fines ilustrativos como elementos discretos, se reconoce que éstas pueden representar elementos de línea distribuidos, que representen distancias de línea variables.

La figura 6 ilustra, además, un sistema de control de un parque eólico 270 que incluye una función de control $H(s)$ 250 que determina un ajuste de tensión del sistema optimizado a base a minimizar pérdidas del sistema. De acuerdo con un algoritmo de minimización de pérdidas 249, se determina una tensión V_c 223 en el lado del bus colector del transformador principal del parque eólico 224 que minimiza pérdidas del sistema descritas anteriormente, sujeto a las restricciones de la salida del parque eólico 245 de potencia real y reactiva (P_{WF} y Q_{WF} , respectivamente) en el POCC 220. La tensión de minimización de pérdidas en 223 corresponde a una tensión medida V_{WF} 255 en la salida del transformador principal 222 reflejada a través de las características del transformador 224. $H(s)$ 250 proporciona la señal de tensión de minimización de pérdidas V_{LM} 265. V_{LM} 265 y la señal de realimentación V_{WF} 255 se envían al control del cambiador de tomas de carga 290. El cambiador de tomas de carga 290 ajusta la configuración de tomas de tensión en el transformador principal del parque eólico para establecer la tensión de optimización de pérdidas en la entrada 223 del transformador principal del parque eólico 224. El algoritmo de minimización de pérdidas 249 estará sujeto a la restricción de que la tensión (V_1 , V_2 , V_3) a la salida de cada aerogenerador debe encontrarse dentro de los límites operativos para ese dispositivo; por ejemplo, entre 0,9 y 1,1 veces la tensión nominal.

La figura 7 ilustra un diagrama de flujo para un procedimiento para minimizar pérdidas del sistema colector a través de un algoritmo que asigna carga reactiva a aerogeneradores individuales. Inicialmente, en la etapa 710, las pérdidas del sistema colector del parque eólico se modelan 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 restricciones del sistema, incluyendo factores tales como el flujo de potencia, factor de potencia y los requisitos de tensión. En la etapa 730, mediante los controles se recibe un comando de potencia reactiva o tensión del parque eólico. En la etapa 740, mediante los controles del sistema se recibe la potencia reactiva detectada en el POCC. En la etapa 750 se compara el comando de potencia reactiva del parque eólico y la potencia reactiva detectada. En la etapa 750, los comandos de potencia del reactor se asignan a los aerogeneradores individuales de acuerdo con el algoritmo de minimización de pérdidas. En la etapa 760, los comandos de potencia reactiva individuales se transmiten a los aerogeneradores individuales.

La figura 8 ilustra un diagrama de flujo para un procedimiento para minimizar pérdidas del sistema colector a través de un algoritmo para establecer una tensión optimizada en el lado del sistema colector del transformador principal del parque eólico. Inicialmente, en la etapa 810, las pérdidas del sistema colector del parque eólico se modelan 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 820, se proporcionan restricciones del sistema, incluyendo factores tales como el rango de tensión a la salida de los aerogeneradores. En la etapa 830, el controlador del sistema recibe una salida de potencia real y reactiva del parque eólico en el POCC. En la etapa 840, el controlador del sistema recibe la salida de tensión detectada en el POCC. En la etapa 850, se determina la tensión óptima en el lado del bus colector del transformador principal de acuerdo con el algoritmo de minimización de pérdidas, sujeto a restricciones del sistema. En la etapa 870 se controla el cambiador de tomas de carga en el transformador principal para establecer la tensión óptima para minimizar pérdidas.

Los parques eólicos anteriores han sido equipados con controladores de parque eólico que regulan cantidades de factor de potencia y tensión de POCC, pero hasta la fecha ninguno construido ha incorporado procedimientos para regular estas cantidades del sistema y optimizar las pérdidas simultáneamente. Un aspecto de la presente invención (aplicable a sistemas colectores de parques eólicos con cambiadores de tomas de carga para el transformador principal del parque eólico) incorpora un algoritmo que determina una tensión óptima para minimizar pérdidas y después controla el cambiador de tomas para establecer la tensión óptima. Un segundo aspecto de la presente invención incorpora un algoritmo que considera la impedancia del sistema colector y opera de manera selectiva cada

turbina en una salida de VAR diferente mientras mantiene la salida requerida según se mide en el POCC. Ambos enfoques permiten reducir pérdidas del sistema sin necesidad de hardware adicional del sistema.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para controlar el funcionamiento de un parque eólico para minimizar pérdidas eléctricas, comprendiendo el procedimiento:
5 conectar una pluralidad de aerogeneradores (201, 202, 203) a por lo menos uno de un conductor (223) y una red de conductores (215, 216, 217) dentro de un sistema colector de un parque eólico (205);
 conectar la red de conductores (215, 216, 217) a la red eléctrica (225) a través de un transformador de subestación (224);
10 controlar la salida eléctrica del sistema del parque eólico (205) y la salida de los aerogeneradores individuales (201, 202, 203);
 enviar comandos de tensión y potencia real y reactiva a los aerogeneradores individuales (201, 202, 203) de acuerdo con un algoritmo (220) para minimizar pérdidas eléctricas del sistema colector del parque eólico (205); y
 determinar (760) una distribución de carga de VAR optimizada a los aerogeneradores individuales (201, 202, 203) para minimizar pérdidas eléctricas; caracterizado por
15 pasar la carga de VAR a los aerogeneradores (201, 202, 203) más cercanos al punto de conexión común (1).
2. Procedimiento para controlar el funcionamiento de un parque eólico para minimizar pérdidas eléctricas de acuerdo con la reivindicación 1, comprendiendo la etapa de conectar una pluralidad de aerogeneradores (201,202,203):
20 conectar la pluralidad de aerogeneradores (201,202,203) en una configuración radial, una configuración dendrítica y/o una configuración en bucle.
3. Procedimiento para controlar el funcionamiento de un parque eólico para minimizar pérdidas eléctricas de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, comprendiendo la etapa de determinar una carga de VAR optimizada, además:
25 minimizar una pérdida de conducción y una pérdida de excitación sin carga.
4. Procedimiento para controlar el funcionamiento de un parque eólico para minimizar pérdidas eléctricas de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, comprendiendo la etapa de determinar la minimización de una pérdida de conducción y una pérdida sin carga, además:
30 mantener por lo menos uno de un factor de potencia, flujo de potencia y tensión en el punto de conexión común (1).
5. Procedimiento para controlar el funcionamiento de un parque eólico para minimizar pérdidas eléctricas de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que comprende, además:
35 proporcionar capacidad de cambio de tomas del transformador (290).
6. Procedimiento para controlar el funcionamiento de un parque eólico para minimizar pérdidas eléctricas de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, comprendiendo la etapa de proporcionar comandos de tensión y potencia real y reactiva a los aerogeneradores individuales (201, 202, 203) de acuerdo con un algoritmo (220) para minimizar pérdidas eléctricas del sistema colector de parque eólico (205), además:
40 determinar (850) una tensión optimizada en el lado del sistema colector del transformador de cambio de tomas para minimizar pérdidas eléctricas.
7. Procedimiento para controlar el funcionamiento de un parque eólico para minimizar pérdidas eléctricas de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que comprende, además:
45 controlar (870) el cambiador de tomas (290) para ejecutar la tensión optimizada en el lado de entrada del transformador de cambio de tomas

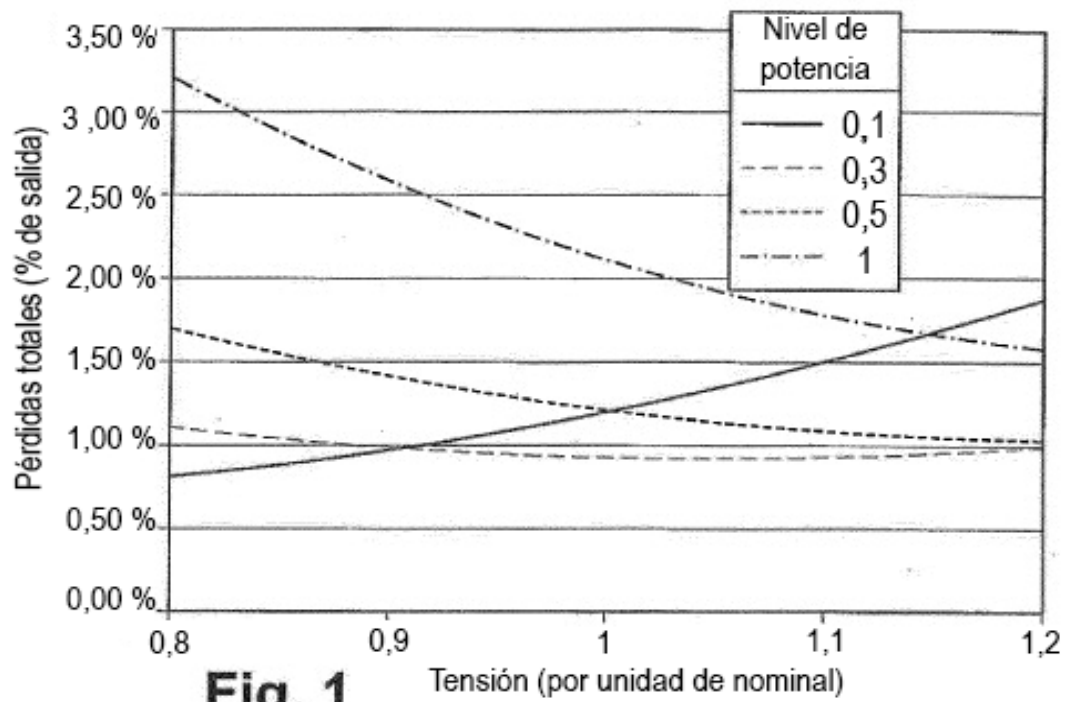


Fig. 1

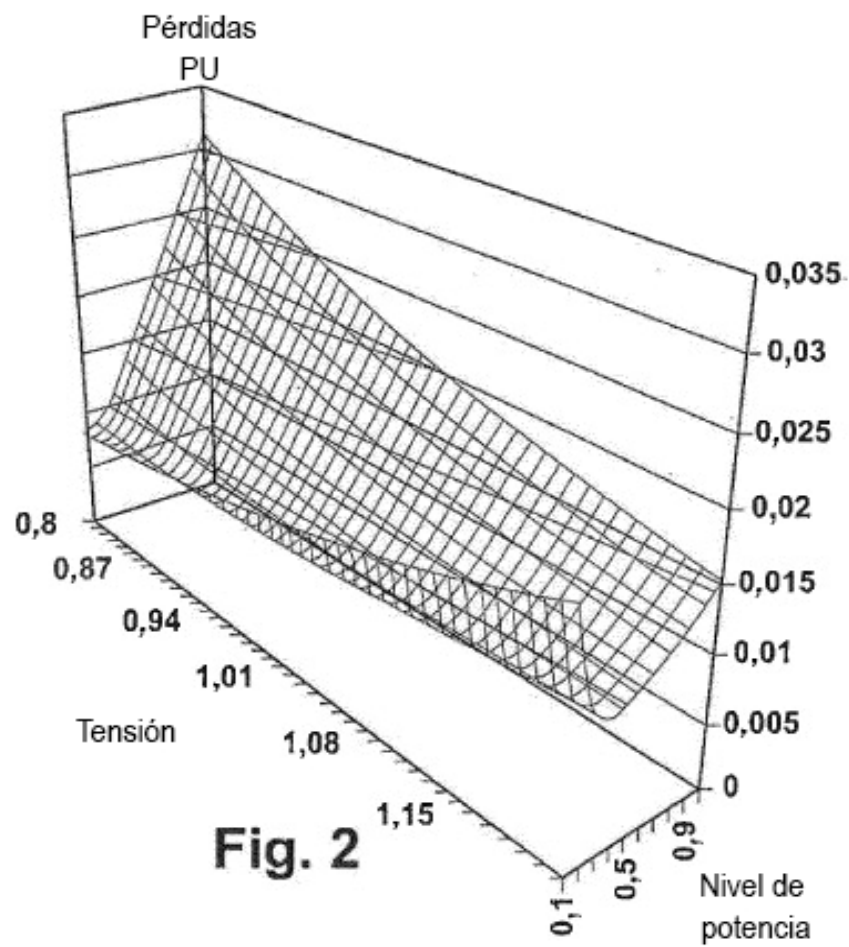


Fig. 2

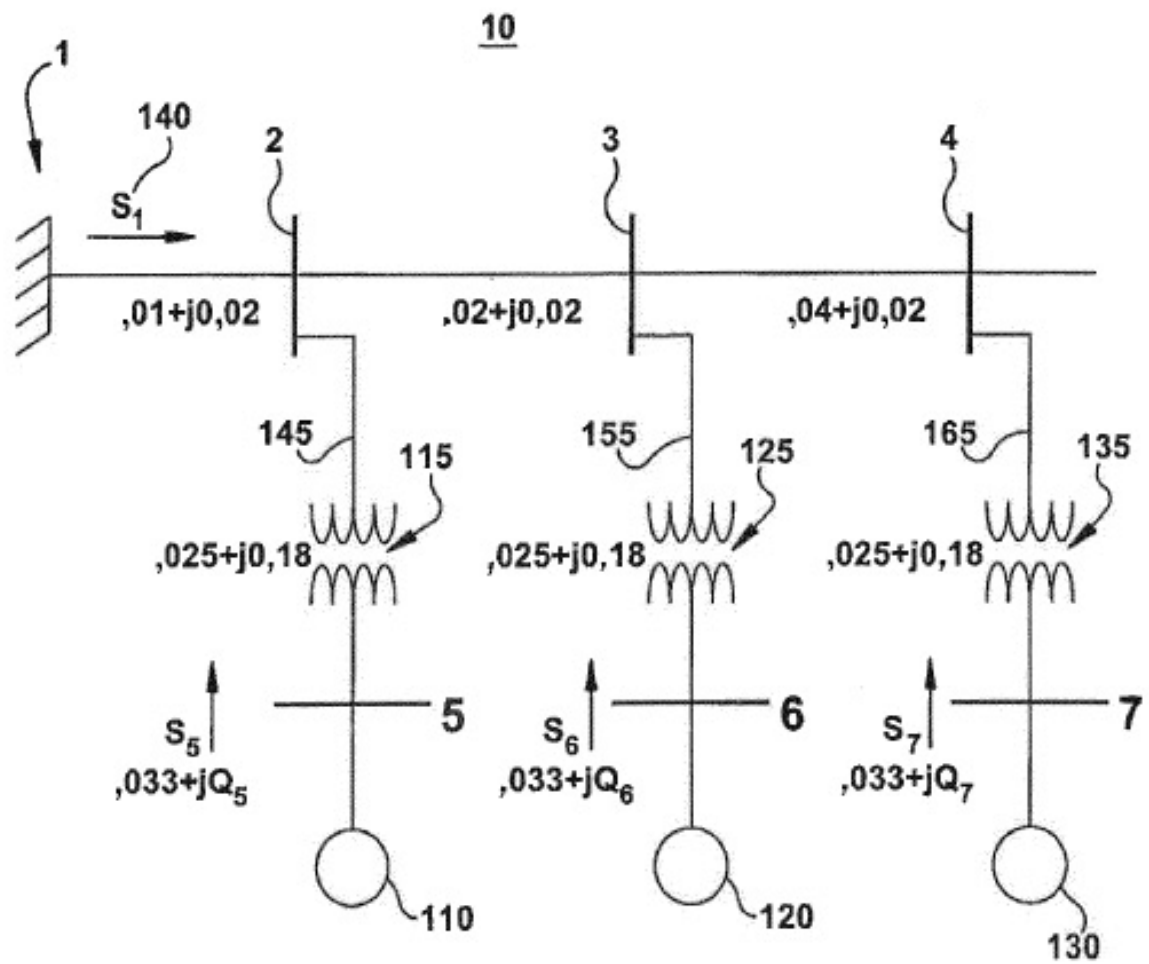


Fig. 3

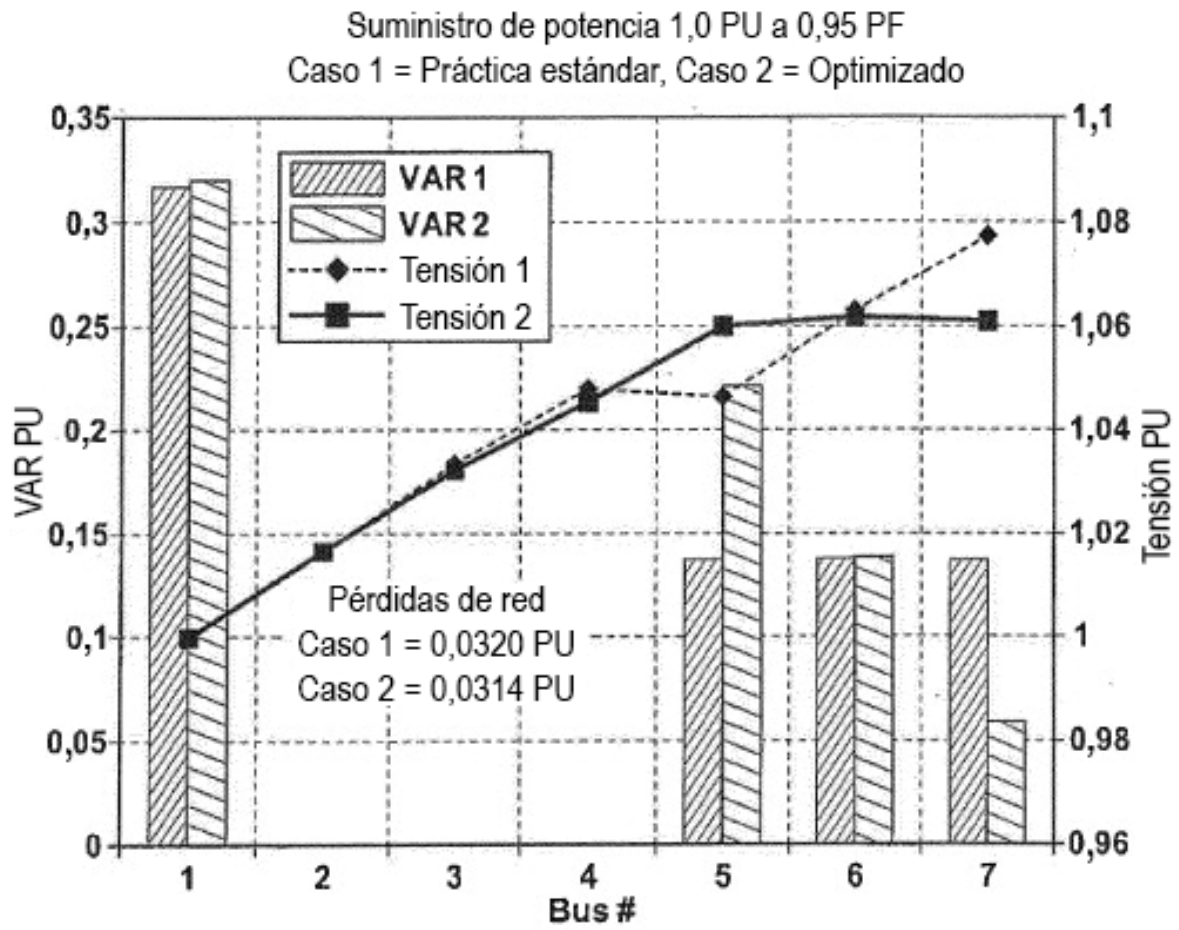


Fig. 4

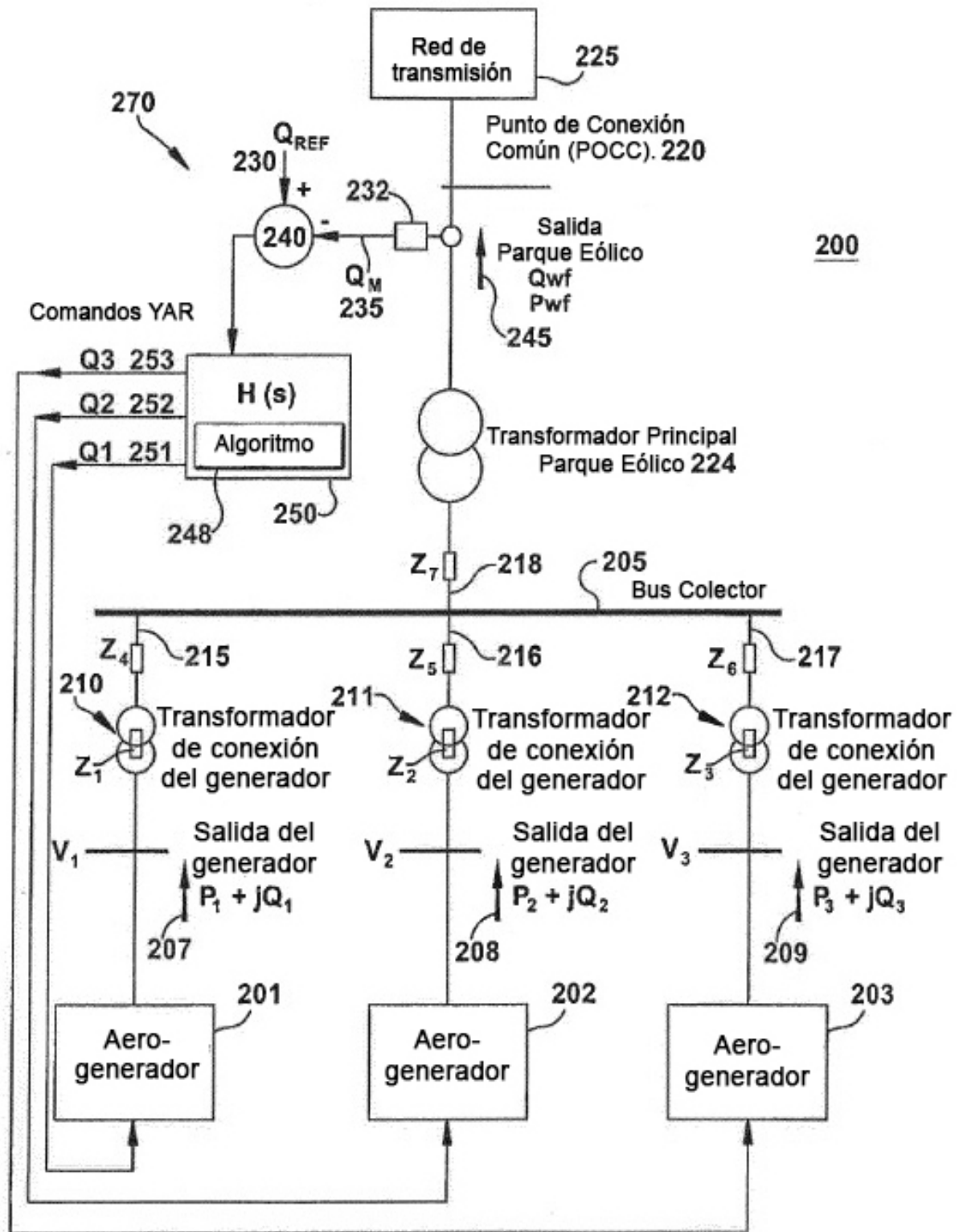
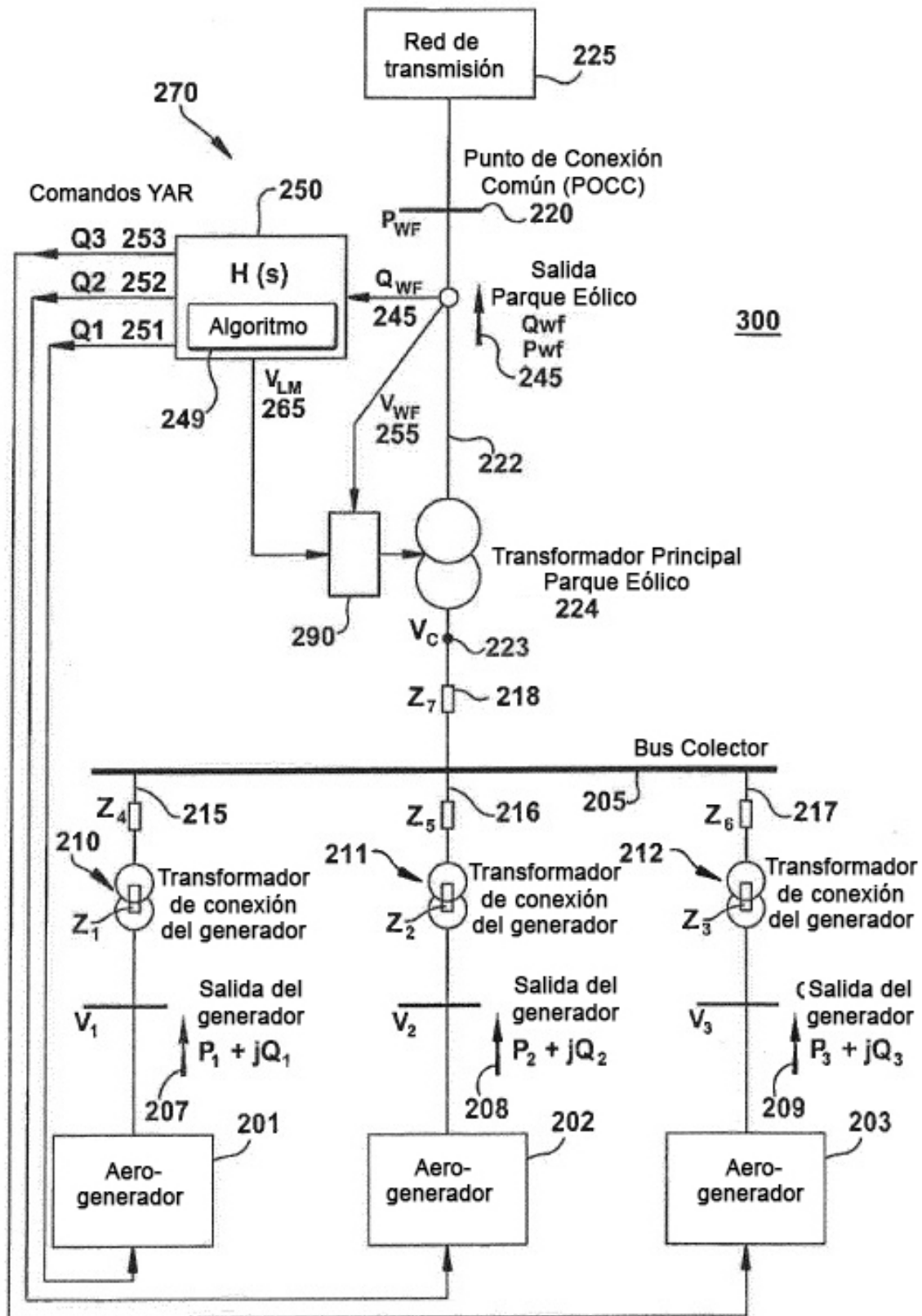
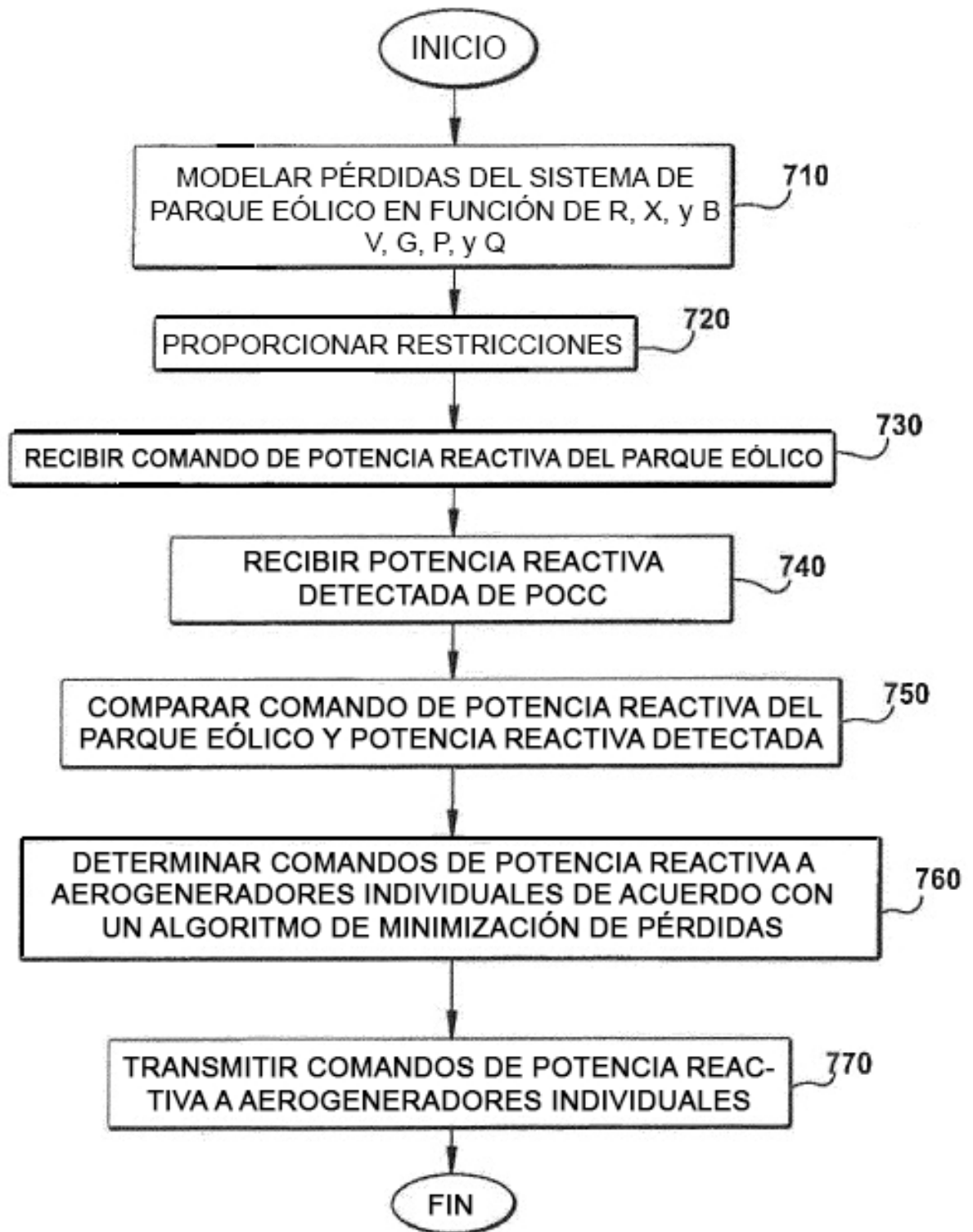
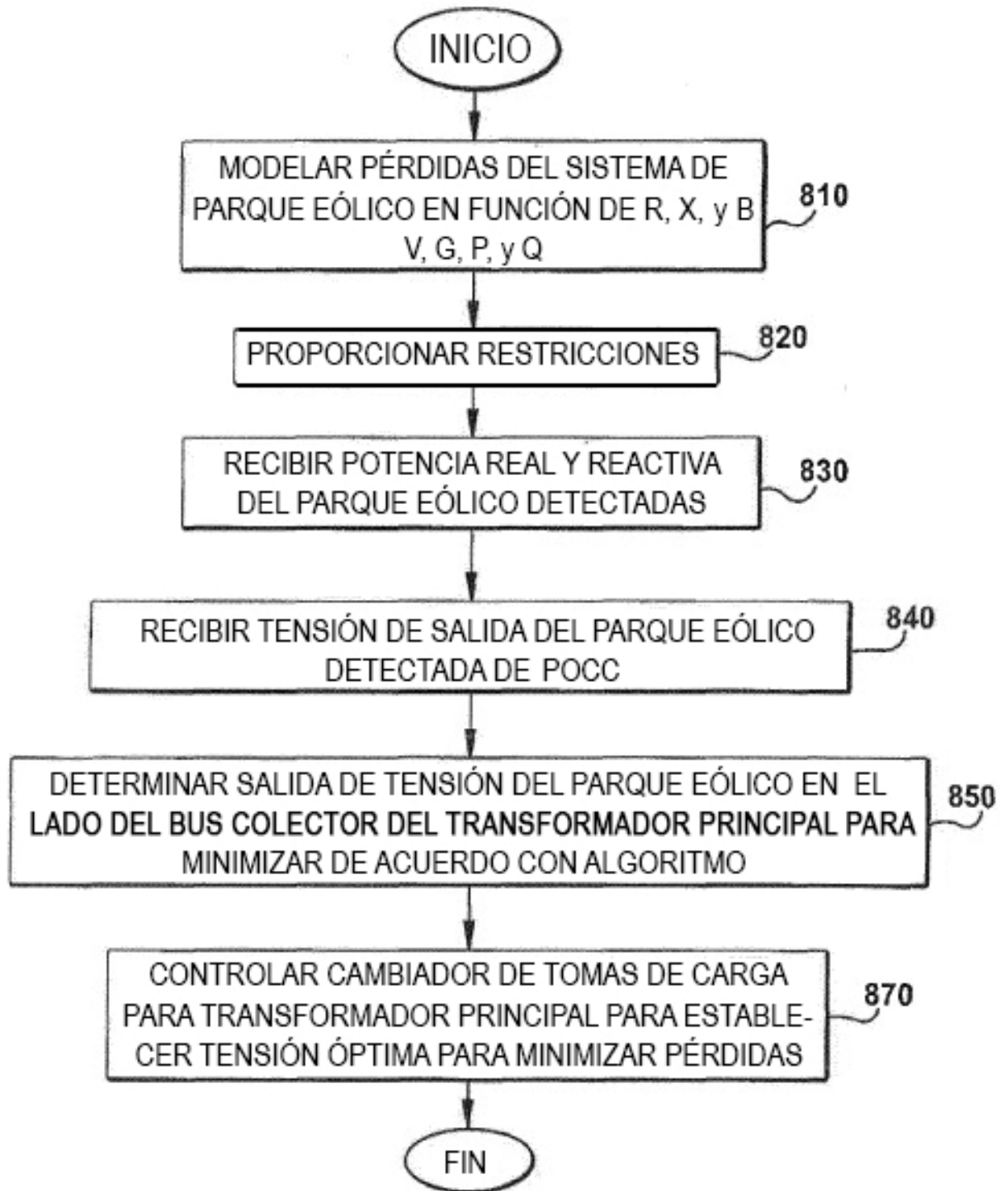


Fig.5



**Fig. 7**

**Fig. 8**

REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN

5 *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.*

Documentos de patentes citados en la descripción

- 10 • WO 2006120033 A [0002] • EP 1512869 A [0002]
• EP 1508951 A [0002]