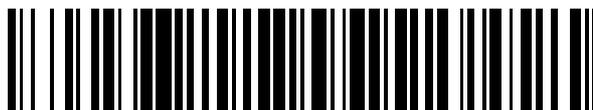


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 448 840**

51 Int. Cl.:

F03D 7/00 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.07.2006 E 06253665 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.12.2013 EP 1746285**

54 Título: **Procedimiento de control de parques eólicos y parque eólico controlado por dicho procedimiento**

30 Prioridad:

20.07.2005 US 185474

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

17.03.2014

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**CARDINAL, MARK EDWARD;
KIRCHNER, ANDREAS;
GANDHI, JIGNESH GOVINDLAL y
BRUGGER, REINHARD**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 448 840 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

Procedimiento de control de parques eólicos y parque eólico controlado por dicho procedimiento

La presente invención se refiere, en general, a los sistemas de generación de energía de turbinas eólicas y, más concretamente, a unos procedimientos y a unos aparatos de control de la potencia generada por aquellas y a los sistemas de generación de energía de turbinas eólicas controlados por dichos procedimientos y aparatos.

Es un deseo común regular y / o limitar la potencia aparente de las plantas de energía eólica (en lo sucesivo designadas como "parques eólicos"). De no ser así, la potencia generada por el parque eólico variará con la potencia captada por las palas de cada turbina, y esa potencia varía con y la potencia captada depende en gran medida de la velocidad del viento en ese momento. La potencia puede ser regulada, por ejemplo, espaciando las palas de las turbinas eólicas o rotando el eje geométrico del rotor a distancia de la dirección del viento.

Un procedimiento de control de la potencia producida por el parque eólico se divulga en el documento US 2005/0042098.

La potencia de salida de un parque eólico se puede caracterizar, al menos en parte, por una potencia aparente. La potencia aparente es la suma de la potencia efectiva, real, medida en vatios y disipada a través de una carga resistiva, y la potencia reactiva, medida en VARs. La suma de los cuadrados de la potencia real y de la potencia reactiva es igual al cuadrado de la potencia aparente. Muchos usos de parques eólicos requieren que la potencia aparente, esto es, los voltios por los amperios, sea limitada a una cantidad escalar. Sin embargo, para un cable, la transmisión de potencia se corresponde con el voltaje y el amperaje. A menudo es necesario limitar el amperaje aplicado sobre la línea de transmisión, porque es esta cantidad la que determina el calentamiento de los componentes o de la propia línea de transmisión y la que provoca que los interruptores automáticos se disparen. Así, a veces es conveniente limitar la potencia aparente para evitar situaciones de sobrecargas en determinados emplazamientos a lo largo de una línea de transmisión o para impedir la sobrecarga de una pieza del equipamiento en régimen de Voltioamperios. Si el régimen de voltaje se sobrepasa, el equipamiento eléctrico fallará y echará chispas. Si el régimen de amperaje se sobrepasa el componente se sobrecalentará. De esta manera puede ser útil limitar la potencia aparente y el factor de potencia.

Diversos aspectos y formas de realización de la presente invención se definen mediante las reivindicaciones adjuntas.

Se debe apreciar que diversas configuraciones de la presente invención permiten que se produzca una potencia incrementada o incluso máxima durante periodos de fuerte viento y una transferencia sin costuras hacia el factor de potencia correcta durante el periodo de vientos más débiles.

A continuación se describirá la invención con mayor detalle, a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos, en los que:

La Figura 1 es un diagrama de bloques gráfico de un sistema de parque eólico regulado.

La Figura 2 es un gráfico que muestra la salida de una función de repliegue como una función de la potencia aparente medida con un umbral de un 5%.

La Figura 3 es un gráfico que muestra la producción de potencia activa por unidad del parque eólico de la Figura 1.

Según se utilizan en la presente memoria, todas las señales que se refieren a valores o mediciones de un sistema son consideradas como "señales indicativas de" los valores o las mediciones. Dichas señales pueden estar a escala, desplazadas o mapeadas de una manera apropiada como elección de diseño para facilitar el diseño del circuito. Una "señal indicativa de" un valor o medición puede ser, por ejemplo, un voltaje analógico procedente de un dispositivo de control o medición o un valor digital almacenado en una memoria o medido utilizando un instrumento de medición digital. A menos que se indique lo contrario, dicha señal puede incluir un factor de escala, un desplazamiento, u otro mapeo como elección de diseño para facilitar la implantación de los bloques funcionales del conjunto de circuitos descrito en la presente memoria.

En algunas configuraciones de la presente invención y con referencia a la Figura 1, un sistema 10 de control de parque eólico para un parque eólico 12 que comprende una o más turbinas eólicas 14, incluye un bucle 16 de control de potencia aparente y un bucle 18 de control de factor de potencia. El bucle 16 de control de potencia aparente regula la potencia activa del parque eólico 12 de acuerdo con la señal de referencia de potencia aparente. El bucle 18 de control de factor de potencia regula un factor de potencia del parque eólico de acuerdo con una señal de referencia de factor de potencia, excepto porque, durante los periodos en los cuales se produce una aproximación a o se sobrepasa, la señal de referencia de potencia aparente es aproximada o se sobrepasa, la magnitud de un ángulo de una señal de referencia de factor de potencia se reduce a cero, y el bucle de control de factor de potencia regula el factor de potencia del parque eólico 12 de acuerdo con la magnitud reducida del ángulo de señal de referencia de factor de potencia.

La potencia aparente, designada en la presente memoria como S , se mide mediante un instrumento de medición apropiado (no mostrado en las figuras), en un punto 20, en una salida del parque eólico 12 en la que una potencia total agregada sumada procedente de las una o más turbinas eólicas 14 está eléctricamente conectada a una red eléctrica (no mostrada con detalle en la Figura 1). La potencia aparente del parque eólico es controlada mediante la reducción de un componente de potencia activa, designado en la presente memoria como P , de la potencia aparente eléctrica del parque eólico 12. Debido a que el bucle 16 de control de la potencia aparente está configurado para reducir solo un componente de potencia activa para regular la potencia aparente, es posible la regulación simultánea del factor de potencia mediante el bucle 18 de control del factor de potencia, estando el factor de potencia relacionado con las cantidades relativas de la potencia activa y de la potencia reactiva.

Más en concreto, una señal indicativa de una señal de referencia de la potencia aparente, $S_{setpoint}$, es introducida en el bucle 16 de control de la potencia aparente. Esta señal es convertida en un comando de potencia activa en el bloque 20, que es un comando indicativo del valor la raíz cuadrada de $(S_{setpoint}^2 - Q_{measured}^2)$. Este comando es, por tanto, indicativo del número efectivo de vatios que van a ser producidos, P , donde $S^2 = P^2 + Q^2$. El comando de potencia activa se modifica por la sustracción efectiva por la potencia activa medida del sistema, $P_{measured}$ en un bloque 22 de sustracción, y el resultado introducido en un regulador de la potencia activa, como por ejemplo un integrador proporcional (PI) 24 de la potencia activa. La salida es un comando de potencia activa que es enviado al parque eólico 12. Aunque no se muestra de manera explícita en la Figura 1, el comando de potencia activa enviado al parque eólico 12 es distribuido a una o más turbinas eólicas 14 para efectuar un cambio en la potencia de salida. En algunas configuraciones de la presente invención, el comando de potencia activa puede comprender una pluralidad de comandos configurada para efectuar diferentes cambios en la potencia de salida procedente de cada turbina eólica.

Más en concreto, una relación entre la potencia aparente, la potencia activa y la potencia reactiva y el factor de potencia se manifiesta como:

S = potencia aparente (en VA).

P = potencia activa (en vatios).

Q = potencia reactiva (en VARS), y

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

Un ángulo de potencia (φ) se define como una relación geométrica entre los componentes de la potencia reactiva y de la potencia activa concretado en:

$$\varphi = \tan^{-1} (Q / P).$$

Un factor de potencia, PF, se define entonces como el coseno del ángulo de potencia φ :

$$PF = \cos (\varphi).$$

Debido a que el factor de potencia, PF, establece directamente una correspondencia con el ángulo de potencia φ , no existe diferencia, por lo que respecta a la presente invención, entre la regulación de un factor de potencia de un parque eólico de acuerdo con una señal de referencia del factor de potencia, por un lado, y la regulación del factor de potencia de acuerdo con la magnitud del ángulo de la señal de referencia del factor de potencia, por el otro. Así mismo, mediante la reducción de la magnitud del ángulo de la señal de referencia del factor de potencia, el valor de la señal de referencia del factor de potencia también se reduce. Por tanto, si un valor depende de una magnitud del ángulo del factor de potencia reducido, también se considera dependiente de una valor de referencia del factor de potencia reducido.

Con referencia a la Figura 1, una señal de referencia del factor de potencia, $PF_{setpoint}$ es introducida en el bucle 18 de control del factor de potencia. En algunas configuraciones, la $PF_{setpoint}$ es convertida en un ángulo en un bloque 26 que determina el $\cos^{-1} (PF_{setpoint})$. Este ángulo se multiplica en la referencia numeral 28 mediante una función de repliegue del factor de potencia, $Foldback (S / S_{setpoint})$ a continuación se determina en el multiplicador 28 para obtener un comando de ángulo modificado para un regulador 30 de factor de potencia (ángulo), como por ejemplo un regulador PI. Antes de que se aplique este comando de ángulo modificado al regulador 30 de factor de potencia (ángulo), el factor de potencia del sistema medido, $PF_{measured}$, medido por un instrumento de medición apropiado (no mostrado en la Figura 1) en la referencia numeral 32 es convertido en un ángulo $\varphi_{measured} = \cos^{-1} (PF_{measured})$. El resultado $\varphi_{measured}$ es sustraído del comando del ángulo modificado. La salida del regulador del factor de potencia (ángulo) es un VAR o un comando de factor de potencia hacia la turbina eólica 12. En algunas configuraciones, el VAR o el comando de factor de potencia comprende una pluralidad de comandos diferentes para controlar por separado las turbinas 14 individuales.

Las funciones del regulador 16 de la potencia aparente y del regulador 18 del factor de potencia hacen posible que un parque eólico 12 regule de forma simultánea el factor de potencia y la potencia aparente cuando la potencia del viento más los VARs requeridos para mantener el factor de potencia correcto son menores que la señal de

referencia de la potencia de referencia requerida. Durante los periodos en los cuales la velocidad del viento (potencia activa producida por las turbinas 14 del parque eólico 12) se acerca a la señal de referencia de potencia aparente, $S_{setpoint}$, la función de repliegue del factor de potencia, $Foldback (S_{measured} / S_{setpoint})$ en algunas configuraciones reduce de manera continua y sin juntas el factor de potencia del parque eólico 12, permitiendo de esta manera una producción incrementada de la potencia activa. Esta ventaja es transparente para los reguladores 24 y 30 de control y no necesita inducir ninguna conmutación de modos o cambios de etapa en la producción de potencia activa o reactiva.

En algunas configuraciones, la función de repliegue del factor de potencia, $Foldback (S_{measured} / S_{setpoint})$ reduce linealmente el ángulo de potencia, arrastrando de manera eficaz el factor de potencia a la unidad cuando la potencia aparente, $S_{measured}$, del parque eólico se aproxima a un umbral ajustable $S_{threshold}$, el cual puede ser representado como un porcentaje de la señal de referencia de la potencia aparente, $S_{setpoint}$. En algunas configuraciones, cuando la potencia aparente medida, $S_{measured}$, del parque eólico 12 es inferior al umbral de repliegue, $S_{threshold}$, no se lleva a cabo ninguna modificación en la señal de partida, $S_{setpoint}$, del ángulo de potencia y la salida $Foldback (S_{measured} / S_{setpoint})$ es efectivamente la unidad.

Por otro lado, en algunas configuraciones de la presente invención, cuando la potencia aparente, $S_{measured}$, del parque eólico 12 se aproxima y / o sobrepasa la señal de referencia de la potencia aparente, $S_{setpoint}$, el valor efectivo de la función $Foldback (S_{measured} / S_{setpoint})$ inicia una reducción monótona de 1 a 0. (El "valor efectivo" ignora el cambio de escala y los desplazamientos como los que podrían introducirse en configuraciones concretas para simplificar el diseño del circuito). La salida de $Foldback (S_{measured} / S_{setpoint})$ se fija en 0 en algunas configuraciones cuando la potencia aparente, $S_{measured}$, del parque eólico 12 sobrepasa o llega a la señal de referencia de la potencia aparente, $S_{setpoint}$. La salida de 0 es multiplicada por el comando del ángulo de potencia, y el resultado siempre producirá un factor de potencia, PF , de 1, porque $\cos(0) = 1$.

De esta manera, en algunas configuraciones, una magnitud del ángulo de la señal de referencia del factor de potencia se reduce a 0 mediante un proceso y el bloque funcional que utiliza una función dependiente de la potencia aparente medida, de la señal de referencia de la potencia aparente, y de un umbral de repliegue. En algunas configuraciones, y con referencia a la Figura 2, el umbral de repliegue se establece en un punto en el que la potencia aparente medida es un 95% de la señal de referencia de la potencia aparente. Sin embargo, el umbral de repliegue en otras configuraciones se establece en un porcentaje diferente de la señal de partida de la potencia aparente. Por ejemplo, en algunas configuraciones, el umbral de repliegue se establece en un 85%. En otras configuraciones, se establece en un 90%. Todavía en otras configuraciones, se establece en un 95%, como en la configuración ilustrada, y todavía en otras configuraciones se establece en un 100%. En algunas configuraciones, se establece en un valor de porcentaje seleccionado dentro de un margen con unos límites inferior y superior seleccionados a partir de estos valores de porcentaje. Los valores de porcentaje inferiores al 85% podrían ser utilizados en algunas configuraciones, aunque dichas configuraciones pueden no producir resultados óptimos. Así mismo, en algunas configuraciones, la reducción se produce solo cuando la potencia aparente medida del parque eólico 12 es mayor que la señal de la potencia aparente.

En algunas configuraciones, la reducción es una reducción lineal como una función de la potencia aparente. Así mismo, en algunas configuraciones, la reducción es una reducción monótona a cero, y / o la reducción se fija en cero cuando la potencia aparente alcanza o sobrepasa la señal de referencia de la potencia aparente.

En algunas configuraciones de la presente invención, la potencia aparente medida, $S_{measured}$, es filtrada para eliminar las variaciones a corto plazo. A continuación, algunas configuraciones determinan $Foldback (S_{measured} / S_{setpoint})$ como resultado de una prueba establecida como,

Si la potencia medida del sistema aparente, $S_{measured}$ es mayor que la señal de referencia de la potencia aparente, $S_{setpoint}$, por un umbral T , entonces emitir una señal indicativa del valor de la expresión concretada en:

$$\frac{1 - (S_{measured} / S_{setpoint})}{1 - T},$$

si no, emitir una señal indicativa del valor 1.

La salida se fija en cero si la potencia aparente medida, $S_{measured}$, es mayor que la señal de referencia de la potencia aparente, $S_{setpoint}$.

En algunas configuraciones de la presente invención, un bloque regulador de la potencia aparente y un bloque regulador del factor de potencia son utilizados en conjunción con el parque eólico para regular de forma simultánea el factor de potencia y la potencia aparente cuando la potencia del viento más los VARs requeridos para mantener el factor de potencia correcto son inferiores a la señal de referencia de la potencia de aparente requerida. Durante los periodos en los cuales la velocidad del viento se acerca a la señal de referencia de la potencia aparente y la potencia activa producida por las turbinas o por el parque eólico aumenta, se utiliza una función de repliegue para reducir el factor de potencia del parque eólico. En algunas configuraciones, esta reducción es continua y / o sin juntas. La función de repliegue hace así posible que el parque eólico aumente y, en algunas configuraciones,

potencia al máximo su producción de potencia activa. Así mismo, en algunas configuraciones, el aumento de la producción de la potencia activa se puede proporcionar de manera transparente a los reguladores de control y no necesita inducir ninguna conmutación de modos o cambios de etapa en la producción de la potencia activa o reactiva.

5 La función de repliegue del factor de potencia proporciona una reducción en el ángulo de potencia, impulsando de manera eficaz el valor de potencia a la unidad o al menos hacia un valor próximo a la unidad, cuando la potencia aparente del parque eólico se acerca a un valor de umbral ajustable. En algunas configuraciones, la función del repliegue del factor de potencia es una función lineal que reduce de manera lineal el ángulo de potencia. En otras
10 configuraciones, la función de repliegue del factor de potencia es una función de reducción monótona y, en otras configuraciones adicionales, es una función no creciente, o al menos una función sustancialmente no creciente que no presenta ninguna zona sustancial de valores crecientes. El valor de umbral ajustable puede ser representado como un porcentaje de la señal de referencia de la potencia aparente. Cuando la potencia aparente medida del parque eólico es inferior al umbral, no se efectúa ninguna modificación, o es escasa, en la señal de referencia del ángulo de potencia en algunas configuraciones de la presente invención y a la salida de la función de repliegue se le
15 puede asignar un valor de 1.

En algunas configuraciones, cuando la potencia aparente del parque eólico se aproxima o sobrepasa la señal de referencia de la potencia aparente, la salida de la función de repliegue inicia su reducción de 1 a 0. La salida de la función de repliegue se fijará en 0 cuando la potencia aparente del parque eólico exceda o llegue a la señal de referencia de la potencia aparente. Una potencia de salida de 0 sobre la función de repliegue será multiplicada por el
20 comando de ángulo de potencia, el cual en algunas configuraciones, siempre produce un factor de potencia de 1, debido a $\cos(0) = 1$.

En algunas configuraciones, y con referencia a la Figura 3, la cantidad de la producción 100 de potencia activa en vatios por unidad de parque eólico MVA (potencia aparente) se incrementa más allá de un umbral (en este caso, un 95% de la señal de referencia de MVA) con respecto a la potencia activa que habría producido 102 sin la función de
25 repliegue. El factor de potencia se reduce, como se indica mediante los VARs 104 reducidos por encima de la señal de referencia.

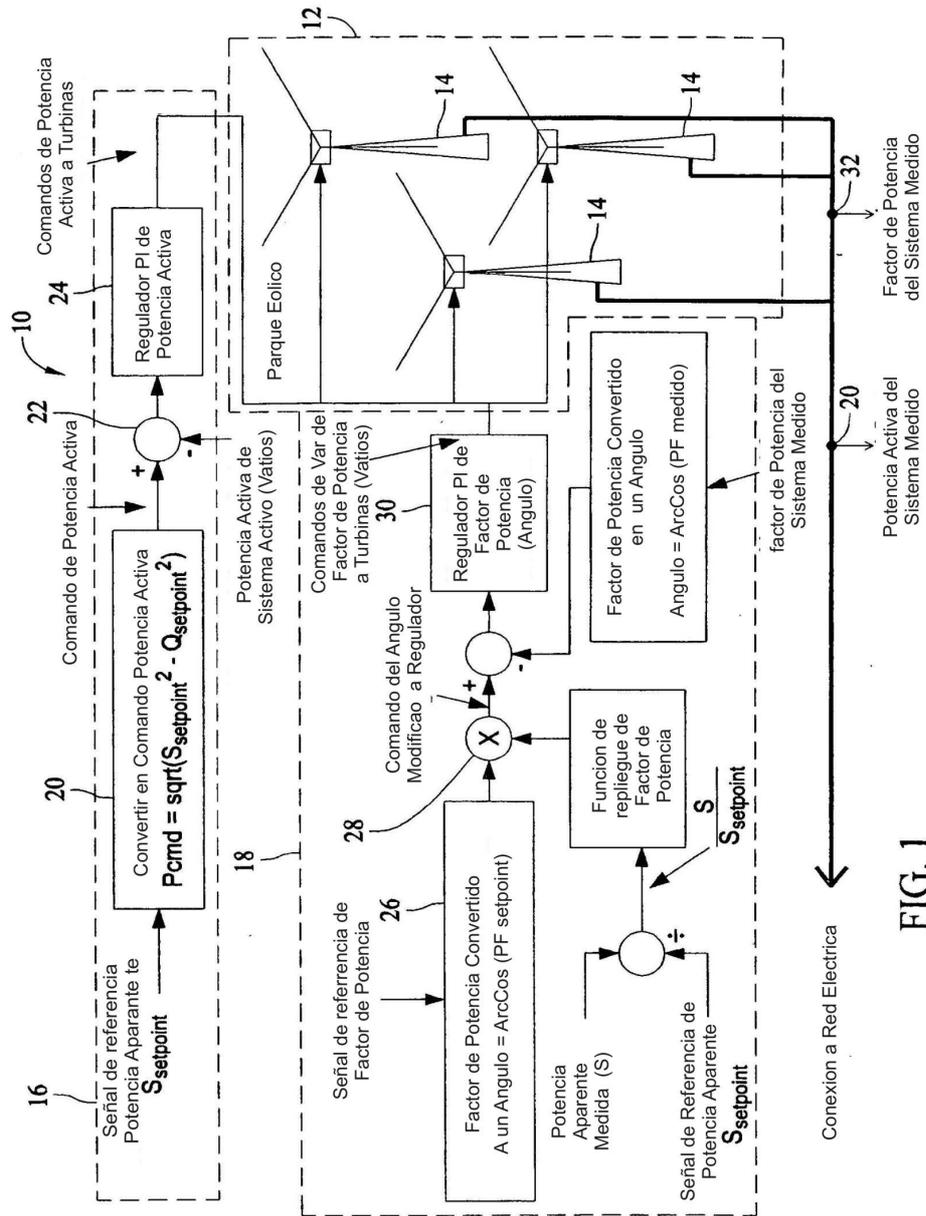
El umbral mostrado en la Figura 3 difiere en algunas otras configuraciones de la presente invención. Por ejemplo, el umbral en algunas configuraciones es un valor seleccionado entre el 85% y el 100% de una señal de referencia de MVA. En algunas configuraciones, el umbral es del 85%, el 90%, el 95% o el 100%, o se sitúa dentro de un margen
30 entre uno de cada dos de estos valores. Los valores porcentuales inferiores podrían ser utilizados en algunas configuraciones, pero pueden no proporcionar resultados óptimos.

De esta manera, se podrá apreciar que algunas configuraciones de la presente invención hacen posible que se produzca una potencia activa incrementada o incluso máxima durante periodos de viento fuerte y la transferencia sin
35 juntas al factor de potencia correcto durante periodos de vientos menos fuertes.

40

REIVINDICACIONES

- 1.- Un procedimiento de control de la potencia producida por un parque eólico (12), comprendiendo dicho procedimiento:
- 5 la regulación de la potencia (24) activa producida por el parque eólico de acuerdo con una señal de referencia de potencia aparente (S_{setpoint}): **y caracterizado porque** comprende
- la regulación de un factor (30) de potencia del parque eólico de acuerdo con una señal de referencia del factor de potencia (PF_{setpoint}), excepto durante periodos en los cuales se produce una aproximación a o se sobrepasa la señal de referencia de potencia aparente (S_{setpoint}), reduciendo una magnitud de un ángulo de la señal de referencia del factor de potencia (PF_{setpoint}) hacia cero y la regulación del factor de potencia (PF) del parque eólico (12) de acuerdo con la magnitud del ángulo de la señal de referencia del factor de potencia reducida.
- 10
- 2.- Un procedimiento de acuerdo con la Reivindicación 1, en el que dicha reducción de la magnitud del ángulo de la señal de referencia del factor de potencia (PF_{setpoint}) hacia cero comprende también el repliegue de un ángulo de la señal de referencia del factor de potencia que utiliza una función dependiente de la potencia aparente medida, de la señal de referencia de la potencia aparente y de un umbral de repliegue.
- 15
- 3.- Un procedimiento de acuerdo con la Reivindicación 2, en el que la función dependiente de una relación de la potencia aparente (S) con la señal de referencia de la potencia aparente (S_{setpoint}) reduce el ángulo de la señal de referencia del factor de potencia solo cuando la potencia aparente medida del parque eólico es mayor que la señal de referencia de la potencia aparente.
- 20
- 4.- Un procedimiento de acuerdo con la Reivindicación 3, en el que la reducción es una reducción lineal en función de la potencia aparente (S).
- 5.- Un procedimiento de acuerdo con la Reivindicación 3, en el que la reducción es una disminución monótona a cero y se fija en cero cuando la potencia aparente (S) alcanza o sobrepasa la señal de referencia de la potencia aparente (S_{setpoint}).
- 25
- 6.- Un parque eólico (12) regulado, que comprende:
- una o más turbinas eólicas (14) que presentan una salida combinada acoplada a una red eléctrica;
- unos instrumentos (20, 32) de medición configurados para proporcionar mediciones de al menos una potencia aparente y un factor de potencia; **y caracterizado porque** comprende:
- 30 un bucle (16) de control de la potencia aparente sensible a una señal de referencia de la potencia aparente (S_{setpoint}) y una potencia aparente medida (S) para proporcionar unos comandos (24) de potencia a las una o más turbinas eólicas para regular la salida de potencia activa del parque eólico hacia la señal de referencia de la potencia aparente; y
- un bucle (18) de control del factor de potencia sensible a la potencia aparente (S) medida y el factor de potencia medida para regular un factor de potencia del parque eólico (12) con una señal de referencia del factor de potencia (PF_{setpoint}), incluyendo también dicho bucle del factor de potencia una función de repliegue del factor de potencia para que, durante los periodos en los cuales se produce una aproximación a, o se sobrepasa, la señal de referencia de potencia aparente, una magnitud del ángulo de la señal de referencia del factor de potencia se reduce hacia cero y dicho bucle de control del factor de potencia regula el factor de potencia del parque eólico de acuerdo con la magnitud del ángulo de la señal de referencia del factor de potencia reducida.
- 35
- 40
- 7.- Un parque eólico (12) de acuerdo con la Reivindicación 6, en el que, para reducir la magnitud del ángulo de la señal de referencia del factor de potencia (PF_{setpoint}) hacia cero, dicho sistema (10) de control está también configurado para replugar un ángulo de la señal de referencia del factor de potencia que utiliza un bloque (28) de circuitos configurado para efectuar un repliegue dependiendo de la potencia aparente medida, de la señal de referencia de la potencia aparente y de un umbral de repliegue.
- 45
- 8.- Un parque eólico (12) de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el bloque (28) de circuitos está configurado para efectuar un repliegue dependiendo de una relación de la potencia aparente con la señal de referencia de la potencia aparente (S_{setpoint}) y está configurado para reducir el ángulo de la señal de referencia del factor de potencia solo cuando la potencia aparente medida es mayor que la señal de referencia de la potencia aparente.
- 50
- 9.- Un parque eólico (12) de acuerdo con las Reivindicaciones 7 u 8, en el que el repliegue es una disminución monótona a cero y el bloque de circuitos configurado para efectuar un repliegue dependiente de una relación de potencia aparente sobre la señal de referencia de la potencia aparente (S_{setpoint}) está configurado para fijar el repliegue en cero cuando la potencia aparente alcance o sobrepase la señal de referencia de la potencia aparente.



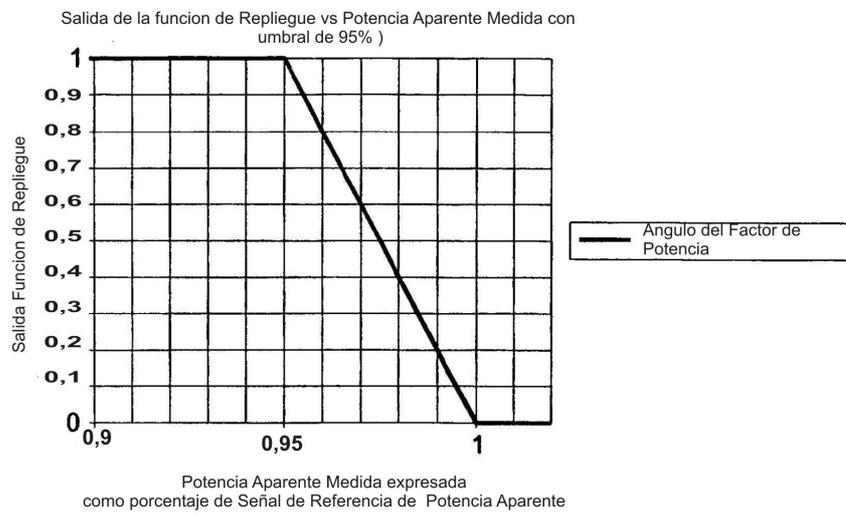


FIG. 2

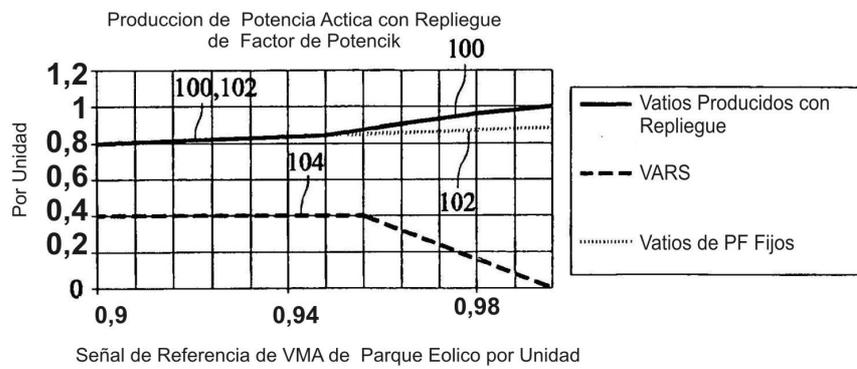


FIG. 3