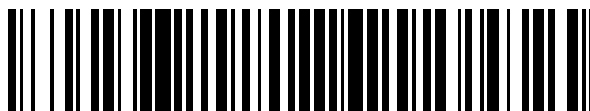


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 417 486**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.11.2008 E 08170079 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2013 EP 2067989**

54 Título: **Sistema y procedimiento de control de una planta de energía eólica**

30 Prioridad:

06.12.2007 US 952055

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

08.08.2013

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**KAMMER, LEONARDO CESAR;
CARDINAL, MARK y
OING, HUBERT**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 417 486 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

Sistema y procedimiento de control de una planta de energía eólica

La presente invención versa, en general, acerca de turbinas eólicas y, más en particular, acerca de procedimientos y aparatos para reducir la carga de forma eficiente en las turbinas eólicas.

5 Las turbinas eólicas vienen recibiendo, últimamente, mayor atención como fuente de energía alternativa medioambientalmente segura y relativamente económica. Con este creciente interés, se han realizado esfuerzos considerables por desarrollar turbinas eólicas que sean fiables y eficientes.

10 en general, una turbina eólica incluye un rotor dotado de múltiples palas. El rotor está montado dentro de un alojamiento o góndola, que está colocado encima de un armazón o una torre tubular. Las turbinas eólicas de tipo industrial (es decir, turbinas eólicas diseñadas para proporcionar energía eléctrica a una red de distribución de energía eléctrica) pueden tener grandes rotores (por ejemplo, de 80 metros de diámetro o más). Las palas de estos rotores transforman la energía del viento en un par rotativo o fuerza que impulsa uno o más generadores, acoplados rotativamente al rotor a través de una caja de engranajes. Puede usarse la caja de engranajes para aumentar la velocidad de rotación inherentemente baja del rotor de la turbina para que el generador convierta eficientemente la energía mecánica en energía eléctrica, que es introducida en una red de distribución de energía eléctrica. Algunas turbinas utilizan generadores que pueden ser acoplados directamente al rotor sin usar una caja de engranajes.

15 El documento EP 1429025 da a conocer un aerogenerador de tipo barlovento y un procedimiento operativo para evitar daños a las palas en caso de un corte del suministro eléctrico.

20 El documento JP 2005/147047 expone un aerogenerador de eje horizontal y un procedimiento de control para reducir automáticamente la carga que actúa sobre un dispositivo de transmisión.

25 En la actualidad, la estrategia de control y el concepto de la seguridad para la turbina eólica por encima de cierta velocidad del viento (velocidad de corte). Esta estrategia evita las cargas dañinas que podrían ocurrir debido a la mayor turbulencia del viento. La desventaja de esta estrategia es la falta de captura de energía en la zona por encima de la velocidad de corte del viento. Además, un breve aumento en la velocidad del viento podría desencadenar la parada de una turbina, mientras que la recuperación hasta una producción normal de potencia puede llevar cierto tiempo. Del mismo modo, la incidencia de una turbulencia elevada a velocidades de viento nominales también aumentará la probabilidad de desencadenamiento de una parada de la turbina.

Brevemente, en un aspecto de la invención, se proporciona un procedimiento de control de una turbina eólica definido en la reivindicación 1, adjunta.

30 En otro aspecto de la invención, se proporciona una turbina eólica definida en la reivindicación 3, adjunta.

Diversos aspectos, características y ventajas de la presente invención serán mejor entendidos cuando la siguiente descripción detallada se lea con referencia a los dibujos adjuntos, en los que cifras homólogas representan partes semejantes en todos los dibujos, en los que:

35 La FIG. 1 es un dibujo de una configuración ejemplar de una turbina eólica.
La FIG. 2 es una vista cortada en perspectiva de una góndola de la configuración ejemplar de la turbina eólica mostrada en la FIG. 1.
La FIG. 3 es un diagrama de bloques de una configuración ejemplar de un sistema de control para la configuración de turbina eólica mostrada en la FIG. 1.
40 La FIG. 4 es un histograma de la velocidad del generador en función del número de mediciones a dos velocidades medias diferentes del viento de 25 m/s y 28 m/s.
La FIG. 5 es un gráfico de la velocidad normalizada del generador en función del tiempo.
La FIG. 6 es un gráfico de la potencia eléctrica normalizada del generador en función del tiempo.

Los inventores hacen referencia ahora a los dibujos, en los que números de referencia idénticos denotan los mismos elementos en la totalidad de las diversas vistas.

45 Con referencia ahora a la FIG. 1, una turbina eólica 100, en algunas configuraciones, comprende una góndola 102 que aloja un generador (no mostrado en la FIG. 1). Una góndola 102 está montada encima de una torre alta 104, solo una porción de la cual se muestra en la FIG. 1. La turbina eólica 100 también comprende un rotor 106 que incluye una pluralidad de palas 108 de rotor unidas a un cubo giratorio 110. Aunque la turbina eólica 100 ilustrada en la FIG. 1 incluye tres palas 108 de rotor, no hay ningún límite específico en cuanto al número de palas 108 de rotor requeridas por diversas realizaciones de la invención.

50 Con referencia ahora a la FIG. 2, diversos componentes están alojados en la góndola 102 encima de la torre 104 de la turbina eólica 100. La altura de la torre 104 se selecciona en función de factores y condiciones conocidos en la técnica. En algunas configuraciones, uno o más microcontroladores dentro del panel 112 de control que comprenden un sistema de control se usan para la monitorización y el control totales del sistema, incluyendo la regulación del

paso y la velocidad, la aplicación del freno al eje de alta velocidad y a la guiñada, la aplicación del motor de guiñada y de bombeo y la monitorización de averías. En algunas configuraciones se usan arquitecturas de control alternativas distribuidas o centralizadas.

5 El sistema de control proporciona señales de control a una transmisión variable 114 del paso de las palas para controlar el paso de las palas 108 (no mostradas en la FIG. 2) que impulsan el cubo 110 como consecuencia del viento. En la realización ilustrada, el cubo 110 recibe tres palas 108, pero otras configuraciones pueden utilizar cualquier número de palas. Los pasos de las palas 108 son controlados individualmente por la transmisión 114 del paso de las palas. El cubo 110 y las palas 108 comprenden conjuntamente el rotor 106 de la turbina eólica.

10 La transmisión de la turbina eólica incluye un eje principal 116 de rotor (también denominado "eje de baja velocidad") conectado al cubo 110 y una caja 118 de engranajes que, en algunas configuraciones, utiliza una geometría de doble recorrido para impulsar un eje de alta velocidad encerrado dentro de la caja 118 de engranajes. Se usa el eje de alta velocidad (no mostrado en la FIG. 2) para impulsar el generador 120. En algunas configuraciones, se transmite par de rotor por medio de un embrague 122. El generador 120 puede ser de cualquier tipo adecuado; por ejemplo, un generador de inducción de rotor devanado. En algunas configuraciones no se usa caja de engranajes y, en vez de ello, el eje 116 del rotor impulsa directamente el generador 120.

15 Con referencia ahora a la FIG. 3, un sistema 300 de control para la turbina eólica 100 incluye un bus 302 u otro dispositivo de comunicaciones para comunicar información. Hay acoplados al bus 302 uno o varios procesadores 304 para procesar información, incluyendo información procedente de sensores configurados para medir desplazamientos o momentos. El sistema 300 de control incluye, además, memoria 306 de acceso aleatorio (RAM) y/u otro(s) dispositivo(s) 308 de almacenamiento. La RAM 306 y el o los dispositivos 308 de almacenamiento están acoplados al bus 302 para almacenar y transferir información e instrucciones que han de ser ejecutadas por el o los procesadores 304. La RAM 306 (y también el o los dispositivos 308 de almacenamiento, si hace falta) también puede ser usada para almacenar variables temporales u otra información intermedia durante la ejecución de instrucciones por parte del procesador o de los procesadores 304. El sistema 300 de control también puede incluir memoria de solo lectura (ROM) y/u otro dispositivo 310 de almacenamiento estático que están acoplados al bus 302 para almacenar y proporcionar información e instrucciones estáticas (es decir, no cambiantes) al procesador o a los procesadores 304. El o los dispositivos 312 de entrada/salida pueden incluir cualquier dispositivo conocido en la técnica para proporcionar datos de entrada al sistema 300 de control y para proporcionar salidas de control de la guiñada y de control del paso. Se proporcionan instrucciones a la memoria desde un dispositivo de almacenamiento, tal como un disco magnético, un circuito integrado de memoria de solo lectura (ROM), un CD-ROM, un DVD, mediante una conexión remota que esté cableada o que sea inalámbrica que proporcione acceso a uno o más medios accesibles electrónicamente y similares. En algunas realizaciones puede usarse circuitería cableada en lugar de instrucciones de soporte lógico o en combinación con las mismas. Así, la ejecución de secuencias de instrucciones no está limitada a ninguna combinación específica de circuitería de soporte físico e instrucciones de soporte lógico. La interfaz 314 de sensores es una interfaz que permite que el sistema 300 de control se comunique con uno o más sensores. La interfaz 314 de sensores puede ser o puede comprender, por ejemplo, uno o más convertidores analógico a digital que convierten las señales analógicas en señales digitales que pueden ser usadas por el o los procesadores 304.

40 Es conocido que la parte fundamental de la carga de una turbina eólica está causada por el efecto de la velocidad relativa del viento sobre las palas. La carga sobre las palas se define generalmente por las fuerzas de sustentación y de resistencia aerodinámica, que actúan a lo largo de una línea de eje virtual de sustentación que se extiende a lo largo del borde delantero de la pala, y aproximadamente el 25% de la anchura de la pala detrás del borde delantero. La turbulencia del viento produce fluctuaciones en las cargas de las palas, que se propagan al resto de los componentes de la turbina, causando fatiga estructural.

45 La carga sobre la turbina eólica puede ser reducida de manera eficiente reduciendo la velocidad relativa del viento. En la práctica, esto puede lograrse reduciendo la velocidad de rotación del rotor. Sin embargo, al reducir la velocidad de rotación del rotor, aumentará el par de entrada en la caja de engranajes (potencia = par × velocidad de rotación) si la potencia eléctrica de salida del generador no se reduce en correspondencia.

50 Durante la operación de la turbina eólica 100, diversos parámetros operativos son medidos por sensores y almacenados en la RAM 206 y/o en el o los dispositivos 308 de almacenamiento. Por ejemplo, un sensor externo de la dirección del viento y un sensor externo de la turbulencia del viento pueden proporcionar información relativa a la velocidad, la dirección y la turbulencia del viento. Un extensómetro montado en las palas puede proporcionar información relativa a las fuerzas flectoras que actúan sobre las palas. Los acelerómetros montados en una o más de las palas pueden proporcionar información relativa a la posición angular momentánea del rotor y de cada pala. 55 Los sensores de temperatura pueden proporcionar información relativa a la temperatura de uno o más componentes de la transmisión y/o del sistema generador. Sensores de la aceleración o la vibración pueden proporcionar información relativa al nivel de vibración o al ruido en uno o más componentes de la transmisión y/o del sistema generador. Un sistema sensor de la potencia puede proporcionar información relativa a la potencia de salida del generador.

Un sistema de control del paso puede proporcionar información sobre la turbulencia del viento y/o el cizallamiento del viento. Los datos procedentes del sensor se graban con el paso del tiempo y el bus 302 envía esta información al procesador o a los procesadores 304.

5 Un intervalo operativo normal para la turbina eólica ocurre a una velocidad del viento, por ejemplo, entre aproximadamente 3 m/s y 25 m/s. En la actualidad, la estrategia de control es parar la turbina eólica por encima de cierta velocidad media del viento (velocidad de corte); por ejemplo, de 25 m/s. La razón principal de esta estrategia es evitar cargas dañinas que podrían ocurrir debido a ráfagas de viento y a turbulencia a altas velocidades del viento. Sin embargo, la desventaja de esta estrategia es la falta de captura de energía en la zona por encima de la velocidad de corte del viento, porque, cuando una turbina eólica convencional ha sido parada, no puede volver a conectarse a la red de distribución de energía eléctrica a la misma velocidad del viento debido a la muy alta carga de la turbina a esta velocidad del viento. Así, la reconexión ocurrirá cuando la velocidad del viento venga siendo menor que la velocidad de corte del viento durante una cantidad de tiempo apropiada; por ejemplo, 30 minutos o más. Otra desventaja de esta estrategia es que un breve aumento en la velocidad del viento podría desencadenar la parada de una turbina en una turbina eólica convencional, mientras que la recuperación hasta una producción normal de potencia puede llevar cierto tiempo. Del mismo modo, la incidencia de una turbulencia elevada a velocidades de viento nominales también aumentará la probabilidad de desencadenamiento de una parada de la turbina. Además de la pérdida en la captura de energía, las paradas de turbinas causan problemas potenciales a la estabilidad de la red de distribución de energía eléctrica debido al cambio abrupto en la potencia generada.

20 Un aspecto de la invención es mantener la velocidad y la potencia de la turbina eólica tan elevadas como sea posible durante condiciones climáticas con velocidad del viento elevada, presencia de ráfagas y/o turbulencia. En particular, la velocidad y la potencia pueden mantenerse a niveles mayores que en una turbina eólica convencional. Este aspecto de la invención se logra seleccionando un valor operativo de referencia en función de la desviación típica del parámetro operativo medido, de modo que el valor operativo de referencia se mantenga por debajo de cierto número de desviaciones típicas alejado de un valor límite de referencia. En una realización ejemplar de la invención, el valor de referencia de la velocidad del rotor/generador se selecciona de tal modo que el valor de referencia de la velocidad del rotor/generador se mantenga cierto número de desviaciones típicas alejado de un límite de exceso de velocidad del rotor/generador.

La desviación típica de la velocidad del rotor/generador puede estimarse como sigue:

$$\sigma_{\omega_r} = \sqrt{G(z) \cdot (\omega_r^{spt} - \omega_r)^2} \quad (\text{Ec. 2})$$

ecuación en la que

30 σ_{ω_r} es la desviación típica en la velocidad del rotor/generador;
 $G(z)$ es un filtro de paso bajo;
 ω_r^{spt} es el valor de referencia de la velocidad del rotor/generador; y
 ω_r es la velocidad medida del rotor/generador.

35 Con referencia ahora a la FIG. 4, se muestra un histograma de la velocidad del generador a dos velocidades medias diferentes del viento de aproximadamente 25 m/s y aproximadamente 28 m/s. A la velocidad media del viento de aproximadamente 25 m/s, el valor de referencia de la velocidad del generador de aproximadamente 1650 rpm, por ejemplo, está por debajo del límite de exceso de velocidad en aproximadamente 3,98 desviaciones típicas. A una velocidad del viento de aproximadamente 28 m/s, que está por encima de la velocidad de corte del viento en una turbina eólica convencional, el mismo valor de referencia de la velocidad del generador está alejado del mismo límite de exceso de velocidad en aproximadamente 3,48 desviaciones típicas.

40 Un aspecto de la invención es seleccionar un valor de referencia de la velocidad del rotor/generador de tal modo que el valor de referencia se mantenga un número predeterminado de desviaciones típicas alejado del límite de exceso de velocidad. En otras palabras, se selecciona el valor de referencia de la velocidad del rotor/generador para mantener un margen de un número predeterminado de desviaciones típicas alejado del límite de exceso de velocidad. Este aspecto inventivo de la invención puede ser invocado continuamente y/o cuando la velocidad media del viento supere un umbral dado.

La FIG. 5 muestra un gráfico de la velocidad normalizada medida del generador en función del tiempo, que se resume en la Tabla I siguiente.

TABLA I

Tiempo (s)	Velocidad media del viento (m/s)	Intensidad de la turbulencia (%)
< 250	25	12
250 - 350	28	12
350 - 600	28	22
> 600	25	12

Según se muestra en la FIG. 5, se selecciona tal valor de referencia de la velocidad del rotor/generador (la línea discontinua más fina de la FIG. 5) como una función de la desviación típica en un parámetro operativo medido, igual que la velocidad del rotor/generador (la línea negra continua de la FIG. 5) se mantiene por debajo de un valor límite de referencia, tal como el límite de exceso de velocidad (la línea discontinua más gruesa de la FIG. 5). Por ejemplo, se selecciona el valor de referencia de la velocidad del rotor/generador para que se mantenga aproximadamente 6 desviaciones típicas alejado del límite de exceso de velocidad del rotor/generador de manera continua en todas las velocidades medias del viento. El procedimiento de este aspecto de la invención mantiene la turbina eólica en funcionamiento mientras mantiene las cargas de esfuerzo dentro de la envolvente máxima de la configuración de la turbina. Se apreciará que las realizaciones de la invención no están limitadas por el número de desviaciones típicas que el valor operativo de referencia se mantiene por debajo del valor límite de referencia. Por ejemplo, pueden ponerse en práctica realizaciones seleccionado el punto operativo de referencia de tal modo que el punto operativo de referencia se mantenga alejado del valor límite de referencia en un número predeterminado de desviaciones típicas, por ejemplo 4 o 5 desviaciones típicas, del parámetro operativo medido. Se apreciará que el valor de referencia del rotor/generador se seleccionará indirectamente en función de la combinación de la velocidad del viento y la turbulencia del viento. Así, es posible que el valor de referencia del rotor/generador permanezca inalterado durante condiciones de alta velocidad del viento (por encima de una velocidad de corte del viento), pero de muy baja turbulencia del viento. Por el contrario, es posible que el valor de referencia del rotor/generador se reduzcan durante condiciones de baja velocidad del viento (por debajo de la velocidad de corte del viento), pero de muy alta turbulencia del viento.

Según se muestra en la FIG. 5, el valor de referencia real (línea gris discontinua) disminuye primero y aumenta después entre aproximadamente 50 segundos y aproximadamente 750 segundos. En particular, el valor de referencia real se reduce en aproximadamente el 90% del valor normalizado en el tiempo cero entre aproximadamente 400 segundos y 600 segundos cuando la combinación de la velocidad media del viento y la turbulencia del viento es la mayor. Sin embargo, el valor de referencia real aumenta muy significativamente entre 600 segundos y 700 segundos, una vez que la combinación de la velocidad media del viento y la turbulencia del viento disminuye.

Según se ha mencionado en lo que antecede, la carga sobre la turbina eólica puede reducirse de forma eficiente reduciendo la velocidad relativa del viento. En la práctica, esto puede lograrse reduciendo la velocidad de rotación del rotor. Sin embargo, al reducir la velocidad de rotación del rotor, aumentará el par de entrada en la caja de engranajes (potencia = par × velocidad de rotación) si la potencia eléctrica de salida del generador no se reduce en correspondencia. Por lo tanto, resulta deseable reducir la potencia eléctrica de salida del generador cuando se reduzca la velocidad del rotor/generador.

Las realizaciones de la presente invención se limitan a seleccionar el valor de referencia de la velocidad del rotor/generador de tal manera que el valor de referencia se mantenga un número predeterminado de desviaciones típicas alejado del límite de exceso de velocidad; sin embargo, la invención puede ser usada para seleccionar otros parámetros operativos deseados de la turbina eólica. Por ejemplo, pueden usarse diversos aspectos de la invención para seleccionar el valor de referencia de la potencia eléctrica, según se muestra en la FIG. 6, usando el mismo ejemplo de velocidad media del viento y de turbulencia del viento dado en la Tabla I. Así, pueden usarse aspectos de la invención para seleccionar el valor de referencia real tanto para la velocidad del rotor/generador como para la potencia eléctrica, de modo que el valor de referencia real se mantenga un número predeterminado de desviaciones típicas alejado del valor límite de referencia.

Según se ha descrito en lo que antecede, diversos aspectos de la invención proporcionan una regulación simple en función del tiempo del valor de referencia real de un parámetro operativo para extender la zona de captura de potencia más allá de las condiciones actuales de corte con un rediseño mínimo del soporte físico de la turbina eólica.

La presente descripción escrita usa ejemplos para dar a conocer la invención, incluyendo el modo preferente, y también para permitir que cualquier persona experta en la técnica realice y utilice la invención. El alcance patentable de la invención está definido por las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la técnica. Se pretende que tales ejemplos adiciones estén dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieran del lenguaje literal de las reivindicaciones o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales con respecto al lenguaje literal de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de control de una turbina eólica (100) que comprende las etapas de:
 - medir un parámetro operativo de la turbina eólica;
 - determinar la desviación típica del parámetro operativo medido; y
 - 5 seleccionar un valor operativo de referencia de modo que el valor operativo de referencia se mantenga un número predeterminado de desviaciones típicas alejado de un límite operativo;
 - en el que el valor operativo de referencia comprende un valor de referencia de la velocidad del rotor/generador, y en el que el parámetro operativo medido comprende la velocidad del rotor/generador, y en el que el límite del valor de referencia comprende un límite de exceso de velocidad del rotor/generador.
- 10 2. El procedimiento de la reivindicación 1 en el que la etapa de selección ocurre únicamente cuando la velocidad media del viento supera una velocidad predeterminada del viento.
3. Una turbina eólica (100) que comprende:
 - un rotor (106) dotado de una pluralidad de palas (108a, 108b, 108c); y
 - un sistema (300) de control configurado para medir un parámetro operativo de la turbina eólica, en la que
 - 15 dicho sistema de control determina la desviación típica del parámetro operativo medido y selecciona un valor operativo de referencia de modo que el valor operativo de referencia se mantenga un número predeterminado de desviaciones típicas alejado de un límite operativo;
 - en la que el valor operativo de referencia comprende un valor de referencia de la velocidad del rotor/generador, y en la que el parámetro operativo medido comprende la velocidad del rotor/generador, y
 - 20 en la que el límite del valor de referencia comprende un límite de exceso de velocidad del rotor/generador.
4. La turbina eólica (100) de la reivindicación 3 en la que el valor operativo de referencia está seleccionado únicamente cuando la velocidad media del viento supera una velocidad predeterminada del viento.

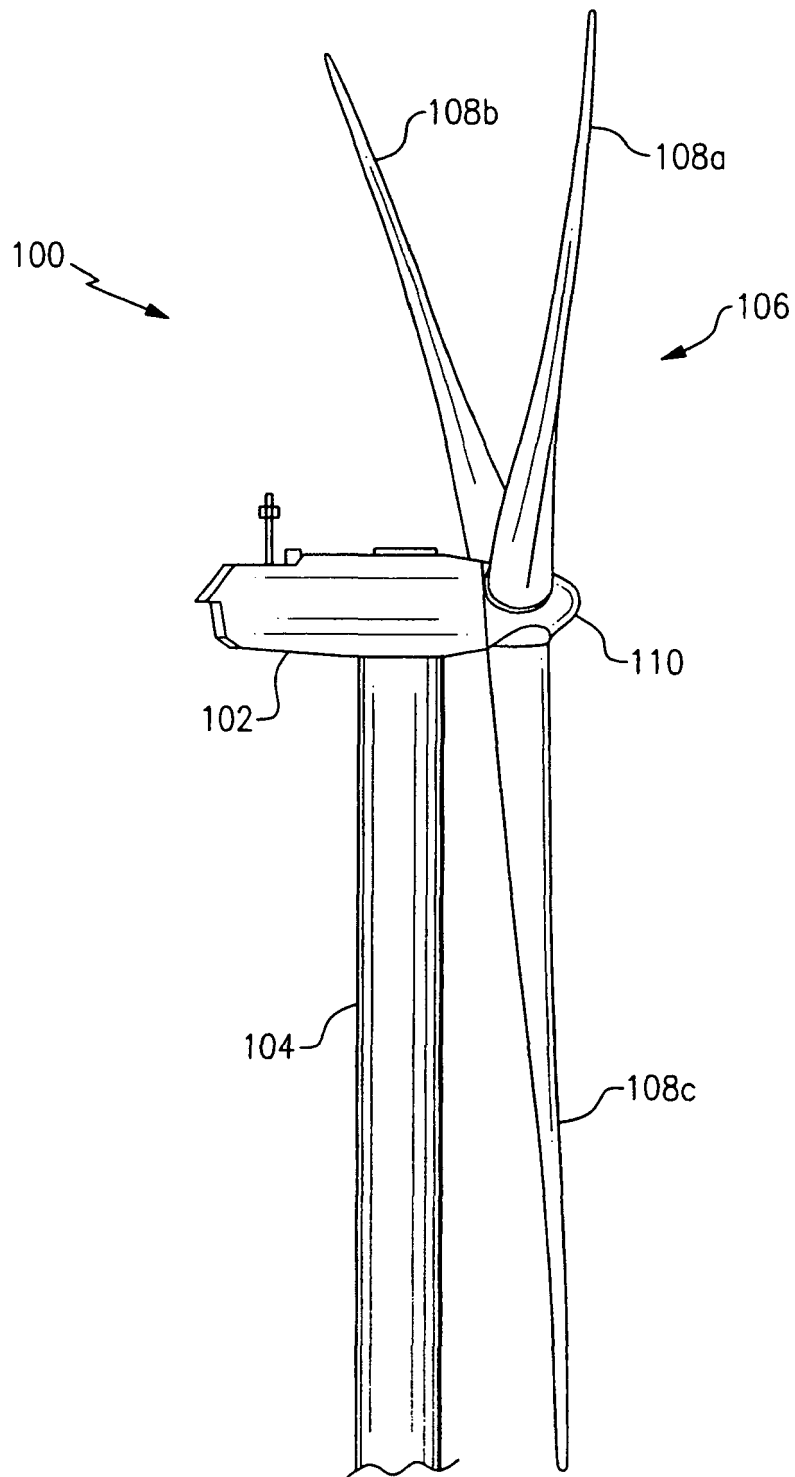
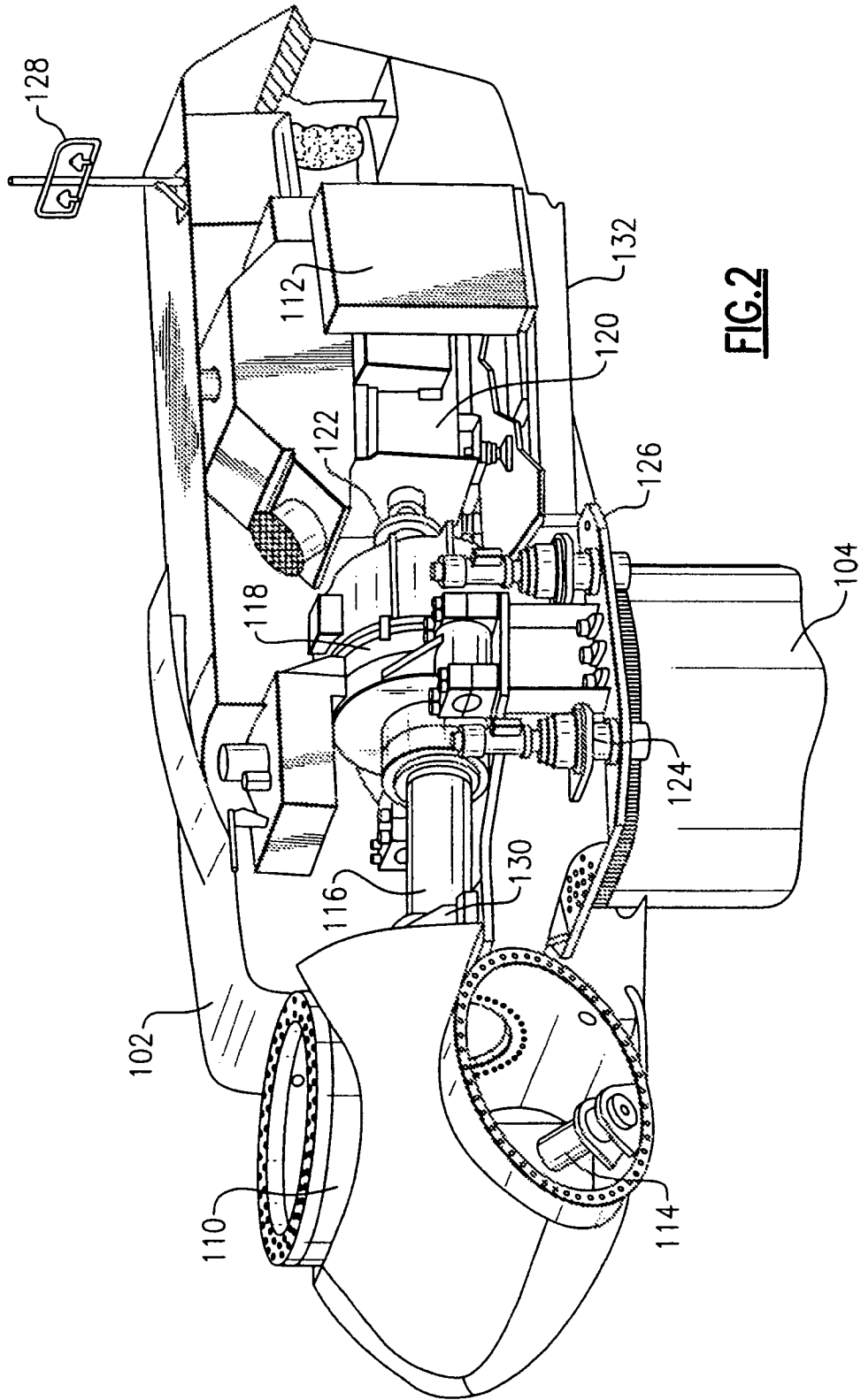


FIG. 1



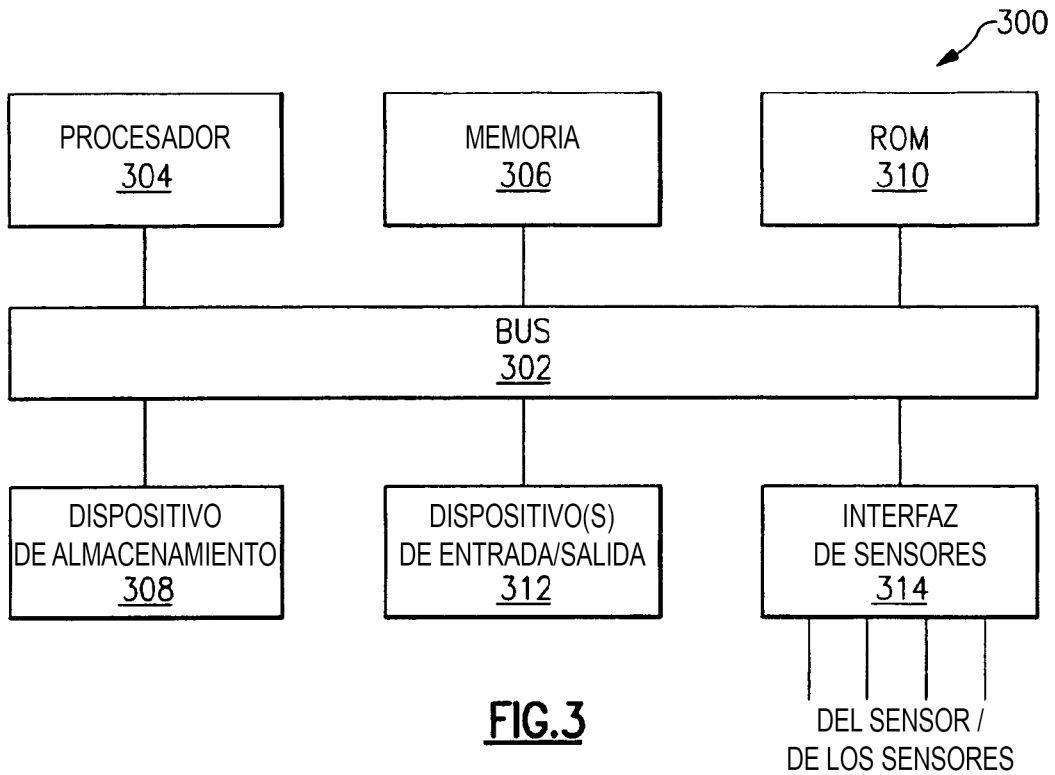


FIG.3

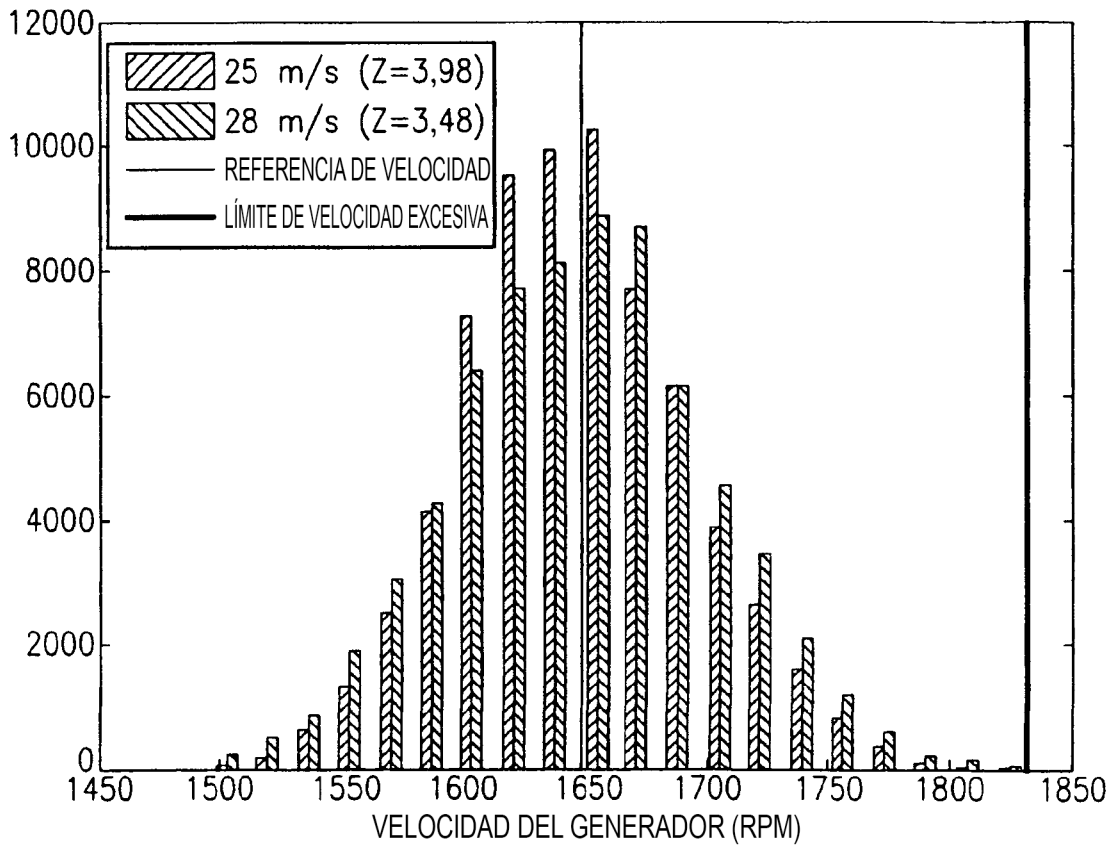


FIG.4

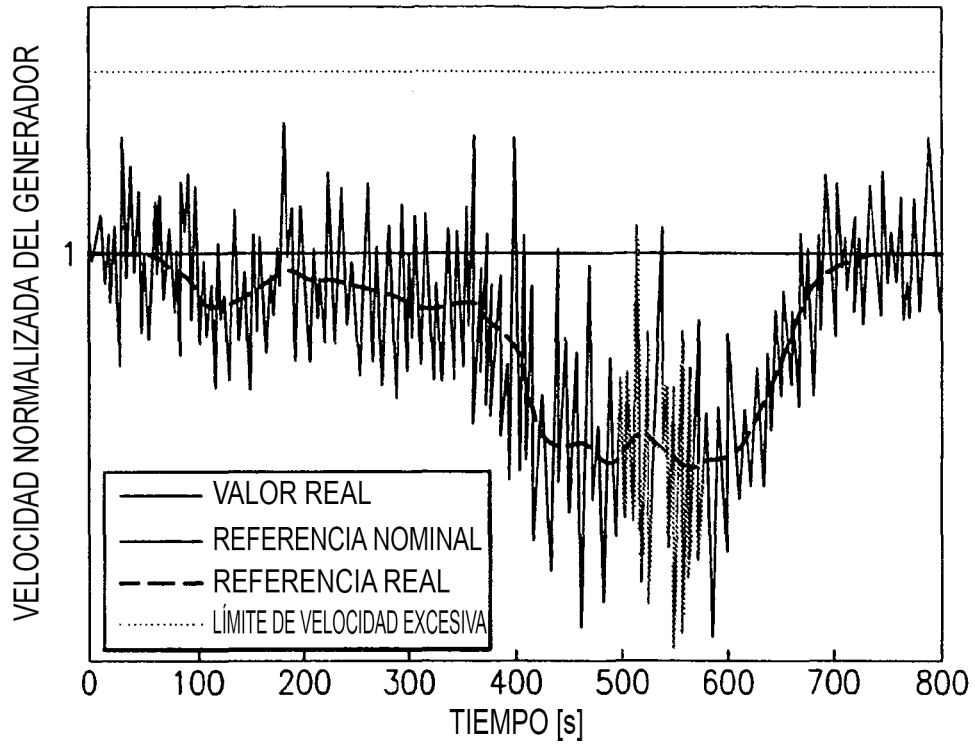


FIG.5

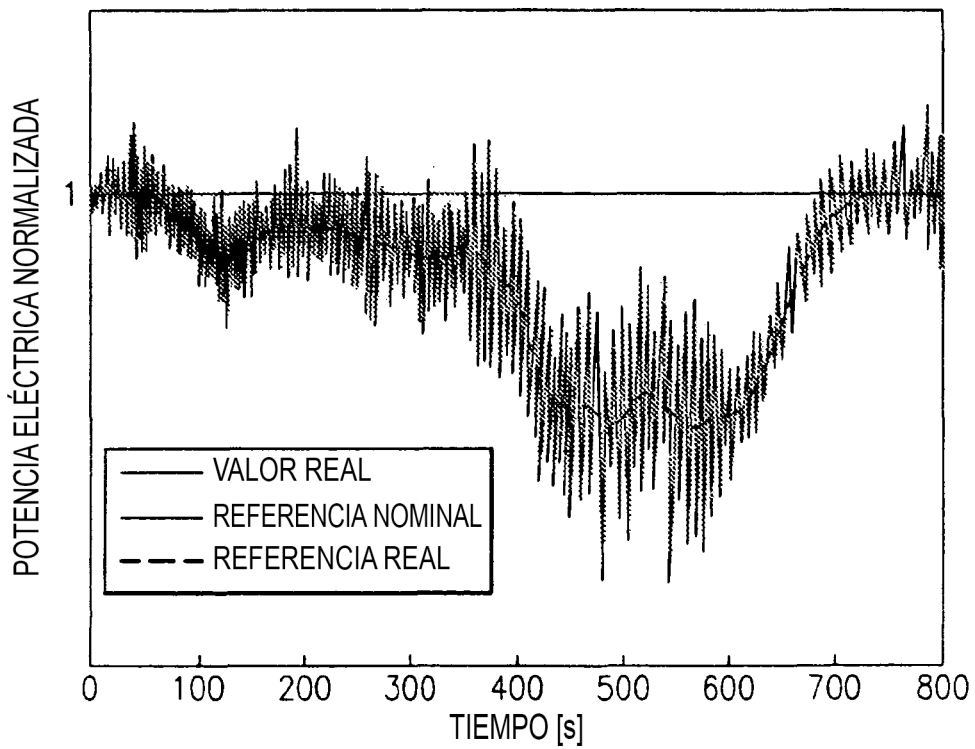


FIG.6