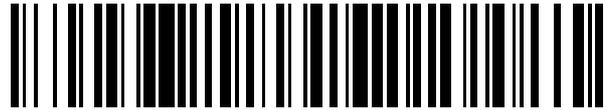


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 437 159**

51 Int. Cl.:

**F03D 11/00** (2006.01)

**F03D 7/02** (2006.01)

**F03D 9/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.08.2010 E 10173289 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.10.2013 EP 2290236**

54 Título: **Procedimiento y sistema de extracción de energía inercial r de una turbina eólica**

30 Prioridad:

**28.08.2009 US 550123**

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

**09.01.2014**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**SCHOLTE-WASSINK, HARTMUT**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 437 159 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 y sistema de extracción de energía inercial r de una turbina eólica

La presente invención descrita se refiere, en general, a la operación de una turbina eólica y, más específicamente, a la extracción de energía inercial a partir de una turbina eólica después de liberar una reducción de potencia de la turbina eólica.

En el documento WO 2008/131775 la velocidad se eleva temporalmente debido al debilitamiento del generador de campo a altas velocidades de viento.

Las turbinas eólicas utilizan la energía del viento para producir energía eléctrica. Las turbinas eólicas típicamente incluyen un rotor que tiene múltiples palas que transforman la energía del viento en movimiento de rotación de un árbol de accionamiento, que a su vez se utiliza para accionar un rotor de un generador eléctrico para producir energía eléctrica. Una pluralidad de turbinas eólicas pueden estar agrupadas, a veces llamadas como un "parque eólico".

Para mitigar los problemas asociados con la carga de la turbina, el suministro de energía a la red y/o en ciertas condiciones de planificación (por ejemplo, actividades de mantenimiento planificadas), puede ser necesario reducir la producción de energía en parte o la totalidad de las turbinas en un parque eólico, también llamado como "reducción de potencia de la turbina eólica". Durante una reducción de potencia de la turbina eólica se controla un nivel de potencia generado por la turbina (es decir, reducido a un nivel de reducción de potencia). Típicamente, durante una reducción de potencia de la turbina eólica, se ajusta un ángulo de paso de las palas del rotor para reducir la velocidad de rotación del rotor, lo que reduce la potencia de salida de la turbina eólica. Por ejemplo, durante una reducción de potencia de la turbina eólica, la turbina eólica puede configurarse para suministrar un cuarenta por ciento (40%) de un nivel máximo de energía eléctrica capaz de producirse mediante la turbina eólica. Durante una reducción de potencia de la turbina eólica, las velocidades del viento pueden ser tales que sería posible producir el nivel máximo de energía eléctrica capaz de producirse mediante la turbina eólica, sin embargo, se genera menos energía por otras razones. En otras bras, la energía aerodinámica presente en el viento no se captura a propósito y, por lo tanto, se desperdicia.

En un aspecto de acuerdo con la presente invención, se proporciona un sistema para operar una turbina eólica durante una operación de reducción de potencia. La turbina eólica incluye un generador y un rotor de turbina eólica que tiene al menos una pala del rotor. La turbina eólica incluye también un tren de accionamiento que incluye al menos un árbol acoplado al rotor de la turbina eólica y configurado para accionar el generador. El sistema incluye un sistema de control configurado para aumentar una velocidad de rotación del rotor de la turbina eólica más allá de una velocidad nominal óptima durante la operación de reducción de potencia de la turbina eólica, y un dispositivo de extracción configurado para extraer la energía inercial almacenada en el tren de accionamiento en caso de liberación de la operación de reducción de potencia.

Diversos aspectos y realizaciones de la presente invención se describirán ahora en relación con los dibujos adjuntos, en los cuales:

La figura 1 es una vista en perspectiva de una turbina eólica de ejemplo.

La figura 2 es una vista en perspectiva parcialmente en sección de una porción de la turbina eólica que se muestra en la figura 1.

La figura 3 es un diagrama de flujo de un procedimiento de ejemplo para la extracción de energía inercial a partir de una turbina eólica.

La figura 4 es un gráfico de velocidades del rotor de ejemplo y la energía correspondiente generada a lo largo del tiempo.

La figura 5 es un gráfico que ilustra los cambios en una velocidad del generador a lo largo de un período de tiempo.

La figura 6 es un gráfico que ilustra los cambios en una potencia de salida del generador durante el período de tiempo que también se muestra en la figura 5.

La figura 7 es un gráfico que ilustra los cambios en un nivel de energía de salida del generador durante el período de tiempo que se muestra en la figura 5.

Tal como se utiliza aquí, el término "pala" está concebido para que sea representativo de cualquier dispositivo que proporcione fuerza reactiva cuando se encuentra en movimiento respecto a un fluido circundante. Tal como se utiliza aquí, el término "turbina eólica" se pretende que sea representativo de cualquier dispositivo que genere energía de rotación a partir de la energía del viento y, más específicamente, que convierta la energía cinética del viento en energía mecánica. Tal como se utiliza aquí, el término "generador de viento" se pretende que sea representativo de cualquier turbina eólica que genere energía eléctrica a partir de energía de rotación generada a partir de la energía

del viento y, más específicamente, que convierta la energía mecánica convertida a partir de la energía cinética del viento en energía eléctrica.

5 Varios efectos técnicos de algunos de los sistemas, procedimientos y aparatos descritos en este documento incluyen al menos uno de (a) configurar un sistema de control para ajustar la operación de la turbina eólica para facilitar el aumento de una velocidad del rotor de un rotor durante la reducción de potencia de la turbina eólica, y (b) configurar un dispositivo de extracción para extraer energía de inercia almacenada en un tren de accionamiento de la turbina eólica bajo la liberación de la reducción de potencia.

10 La figura 1 es una vista en perspectiva de una turbina eólica 10 de ejemplo. La figura 2 es una vista en perspectiva parcialmente seccionada de una porción de la turbina eólica 10. La turbina eólica 10 descrita y mostrada en este documento está configurada para generar energía eléctrica a partir de la energía del viento. Por otra parte, la turbina eólica 10 descrita y mostrada en este documento incluye una configuración de eje horizontal. Sin embargo, en algunas realizaciones, la turbina eólica 10 puede incluir, además de o como una alternativa a la configuración de eje horizontal, una configuración de eje vertical (no representada). La turbina eólica 10 puede acoplarse a una carga eléctrica (no mostrada), tal como, pero no limitada a, una red de energía eléctrica (no mostrada), para la recepción de energía eléctrica desde la misma para accionar el funcionamiento de la turbina eólica 10 y/o componentes asociados y/o para el suministro de potencia eléctrica generada por la turbina eólica 10 a la misma. Aunque sólo se muestra una turbina eólica 10 en las figuras 1 y 2, en algunas realizaciones, una pluralidad de turbinas eólicas 10 pueden agruparse juntas para formar un parque eólico.

20 La turbina eólica 10 incluye un cuerpo 12, denominado a veces como una "góndola", y un rotor (designado en general mediante 14) acoplado al cuerpo 12 para su rotación respecto al cuerpo 12 alrededor de un eje de rotación 16. En la realización de ejemplo, el cuerpo 12 está montado en una torre 18 que se extiende desde una base 20. Sin embargo, en algunas realizaciones, además de o como alternativa al cuerpo 12 montado en la torre, la turbina eólica 10 incluye un cuerpo 12 adyacente al suelo y/o una superficie de agua. La altura de la torre 18 puede ser cualquier altura adecuada que permita que la turbina eólica 10 funcione como se describe en este documento. El rotor 14 incluye un buje 22 y una pluralidad de palas 24 (a veces llamadas como "perfiles aerodinámicos") que se extienden radialmente hacia el exterior desde el buje 22 para convertir la energía del viento en energía de rotación. Aunque el rotor 14 se describe y se muestra en este documento como que tiene tres palas 24, el rotor 14 puede tener cualquier número adecuado de palas 24. Cada pala 24 puede tener cualquier longitud adecuada que permita que la turbina eólica 10 funcione como se describe en este documento. Por ejemplo, en algunas realizaciones, una o más palas 24 son aproximadamente de un medio metro de largo, mientras que en algunas realizaciones una o más palas 24 son de unos cincuenta metros de largo. Otros ejemplos de longitudes de las palas 24 incluyen diez metros o menos, aproximadamente veinte metros, aproximadamente treinta y siete metros, y aproximadamente cuarenta metros. Otros ejemplos incluyen palas del rotor entre unos cincuenta metros y un centenar de metros de largo.

35 A pesar de cómo se muestran las palas 24 en la figura 1, el rotor 14 puede tener palas 24 de cualquier forma adecuada, y puede tener palas 24 de cualquier tipo y/o de cualquier configuración, si tal forma, tipo y/o configuración se describe y/o se muestra en este documento. Un ejemplo de otro tipo, forma y/o configuración de las palas 24 es un rotor de conductos (no mostrado) que tiene una turbina (no mostrada) contenida dentro de un conducto (no mostrado). Otro ejemplo de otro tipo, forma y/o configuración de las palas 24 se incluye dentro de una turbina eólica de Darrieus, denominada a veces como una turbina de "batidora de huevos". Sin embargo, otro ejemplo de otro tipo, forma y/o configuración de las palas 24 se incluye dentro de una turbina eólica de Savonius. Un ejemplo adicional de otro tipo, forma y/o configuración de las palas 24 se incluye dentro de un molino de viento tradicional para bombear agua, tal como, pero no limitado a, rotores de cuatro palas que tienen persianas de madera y/o velas de tela. Por otra parte, la turbina eólica 10 puede ser, en algunas realizaciones, una turbina eólica que tiene un rotor 14 que generalmente está encarado contra el viento para aprovechar la energía del viento, y/o puede ser una turbina eólica que tiene un rotor 14 que, en general, está encarada con la dirección del viento para aprovechar la energía. Por supuesto, en cualquier realización, el rotor 14 puede no estar exactamente encarado contra el viento y/o a favor del viento, sino que puede estar encarado generalmente en cualquier ángulo (que puede ser variable) respecto a una dirección del viento para aprovechar la energía del mismo.

50 Haciendo referencia ahora a la figura 2, la turbina eólica 10 incluye un generador eléctrico 26 acoplado al rotor 14 para generar energía eléctrica a partir de la energía de rotación generada por el rotor 14. El generador 26 puede ser cualquier tipo adecuado de generador eléctrico, tal como, pero no limitado a, un generador de inducción de rotor bobinado, tal como un generador de inducción doblemente alimentado. El generador 26 incluye un estator (no mostrado) y un rotor (no mostrado). El rotor 14 incluye un árbol rotor principal 28 (también llamado como un "eje de baja velocidad") acoplado al buje 22 para su rotación con el mismo. El generador 26 está acoplado al árbol rotor principal 28 de tal manera que la rotación del árbol rotor principal 28 acciona la rotación del rotor del generador, y por lo tanto, la operación del generador 26. En la realización de ejemplo, el rotor del generador tiene un árbol rotor 30 (también llamado como un "árbol de alta velocidad") acoplado al mismo y acoplado al árbol rotor principal 28 a través de una caja de engranajes 32. En otras realizaciones, el rotor del generador está acoplado directamente al árbol rotor principal 28, a veces llamado como un "turbina eólica de accionamiento directo".

60 En algunas realizaciones, uno o más procesadores (no mostrados en la figura 2) dentro de un panel de control 34 forman un sistema de control 36 que se utiliza para la monitorización y el control general del sistema, incluyendo la

regulación del paso y de la velocidad, la aplicación del árbol de alta velocidad y del freno al viraje, la aplicación al viraje y a la bomba del motor y la monitorización del nivel de potencia y de fallos. Arquitecturas de control distribuidas o centralizadas alternativas pueden utilizarse en algunas realizaciones. El término procesador, como se usa aquí, se refiere a unidades centrales de procesamiento, microprocesadores, microcontroladores, circuitos de conjunto de instrucciones reducidos (RISC), circuitos integrados de aplicación específica (ASIC), circuitos lógicos, y cualquier otro circuito o procesador capaz de ejecutar las funciones descritas en este documento.

En diversas realizaciones, el sistema de control 36 proporciona señales de control a un accionador 38 del paso del pala variable para controlar el paso de las palas 24 que accionan el buje 22 como resultado de viento. El buje 22 y las palas 24 juntas forman el rotor 14 de la turbina eólica. Un tren de accionamiento 40 de la turbina eólica 10 incluye el árbol rotor principal 28, conectado al buje 22 y a la caja de engranajes 32 que, en algunas realizaciones, utiliza una geometría de trayectoria doble para accionar el árbol de alta velocidad 30 encerrado dentro de la caja de engranajes 32. El árbol de alta velocidad 30 se utiliza para accionar el generador 26 que está soportado por un bastidor principal 42. Otro tipo adecuado de generador, a modo de ejemplo no limitativo, es un generador de múltiples polos que puede operar a la velocidad del árbol rotor principal 28 en una configuración de accionamiento directo, sin necesidad de caja de engranajes 32.

El par del rotor 14 acciona el rotor del generador para generar así energía eléctrica de CA de frecuencia variable a partir de la rotación del rotor 14. El generador 26 tiene un par del hueco de aire entre el rotor del generador y el estator que se opone al par del rotor 14. Un convertidor de frecuencia 44 está acoplado al generador 26 para la conversión de la CA de frecuencia variable a una CA de frecuencia fija para su suministro a una carga eléctrica (no mostrada en la figura 2), tal como, pero no limitada a, una red de energía eléctrica acoplada al generador 26. El convertidor de frecuencia 44 puede estar colocado en cualquier lugar dentro o alejado de la turbina eólica 10. Por ejemplo, en la realización de ejemplo, el convertidor de frecuencia 44 está colocado dentro de la base 20 de la torre 18.

En algunas realizaciones, la turbina eólica 10 puede incluir un limitador de la velocidad del rotor, por ejemplo, pero no limitado a, un freno de disco 46. El freno de disco 46 frena la rotación del rotor 14 para, por ejemplo, ralentizar la rotación del rotor 14, el rotor de freno 14 contra el par total del viento, y/o reducir la generación de energía eléctrica desde el generador eléctrico 26. Además, en algunas realizaciones, la turbina eólica 10 puede incluir un sistema de viraje 48 para la rotación del cuerpo 12 alrededor de un eje de rotación 50 para cambiar un viraje del rotor 14, y más específicamente, para cambiar una dirección de orientación del rotor 14 para, por ejemplo, ajustar un ángulo entre la dirección de orientación del rotor 14 y una dirección del viento.

La figura 3 es un diagrama de flujo 60 que ilustra un procedimiento de ejemplo para el funcionamiento de una turbina eólica, por ejemplo, la turbina eólica 10 (mostrada en la figura 2) durante la reducción de potencia de la turbina eólica 10. Más específicamente, el diagrama de flujo 60 ilustra un procedimiento de ejemplo para la extracción de energía inercial de, por ejemplo, la turbina eólica 10. El procedimiento incluye la monitorización 70 del funcionamiento de la turbina eólica. Por ejemplo, la generación de energía y la demanda de energía de la red pueden monitorizadas 70, de manera local y/o remota a partir de la turbina eólica 10. En algunos ejemplos, el sistema de control 36 (que se muestra en la figura 2) está configurado para monitorizar 70 la generación de energía y la demanda de energía de la red. El procedimiento puede incluir también la iniciación 72 de una reducción de potencia de la turbina eólica 10 ante la ocurrencia de un evento de reducción de potencia. Mediante la iniciación 72 de la reducción de potencia de la turbina eólica 10, se reduce una salida del nivel de potencia de la turbina eólica 10. Típicamente, la reducción de potencia se inicia 72 mediante el ajuste de un paso de pala de las palas del rotor, por ejemplo, las palas del rotor 24 (que se muestran en la figura 2). El paso de las aspas se ajusta para reducir una velocidad de rotación del rotor, por ejemplo, el rotor 14 (que se muestra en la figura 2). Al reducir la velocidad de rotación del rotor 14 se reduce la potencia de salida mediante la turbina eólica 10.

En la realización de ejemplo, en lugar de la reducción de potencia de la velocidad de rotación del rotor 14, el inicio 72 de la reducción de potencia de la turbina eólica 10 incluye una reducción de potencia de la demanda de par en el generador 26. Más específicamente, un convertidor de frecuencia, por ejemplo, el convertidor de frecuencia 44 (que se muestra en la figura 2) está configurado para reducir la demanda de par en el generador 26 al iniciar la reducción de potencia. Mediante la reducción de potencia de la demanda de par en el generador 26, se reduce la salida de energía mediante la turbina eólica 10, por ejemplo, a un nivel de reducción de potencia.

Como se describió anteriormente, el procedimiento incluye iniciar 72 la reducción de potencia de la turbina eólica 10 al producirse un evento de reducción de potencia. El evento de reducción de potencia puede incluir la generación de energía superior a la demanda de energía de la red de alimentación, la generación de energía superior a un nivel de energía de reducción de potencia almacenado, y/o un período de tiempo de demanda de baja energía. Alternativamente, la reducción de potencia puede seguir una programación de reducción de potencia. Por ejemplo, se puede determinar que durante los períodos de tiempo de uso de electricidad pico, una red de alimentación sea capaz de ofrecer un nivel de energía generada por la turbina eólica 10 que sea del 80% de una energía máxima posible que es capaz de generar la turbina eólica 10. Durante períodos que no son pico, la red de alimentación sólo puede ser capaz de ofrecer un nivel de energía generada por la turbina eólica 10 que es el 50% del máximo posible es capaz de generar la turbina eólica 10. La reducción de potencia facilita la provisión a la red de alimentación de un nivel de energía que la red de alimentación es capaz de suministrar.

En la realización de ejemplo, el procedimiento también incluye facilitar 74 un aumento en una velocidad del rotor durante la reducción de potencia de la turbina eólica. Más específicamente, el sistema de control 36 está configurado para ajustar un ángulo de paso de una o más de las palas 24, por ejemplo, mediante el control del accionamiento 38 de paso variable de las palas (mostrado en la figura 2). El ajuste del ángulo de paso de las palas del rotor 24 facilita el aumento de la velocidad de rotación del rotor 14 durante la reducción de potencia de la turbina eólica 10. En la realización de ejemplo, se reduce la demanda de par en el generador 26, manteniendo la potencia de salida de la turbina eólica 10 en o por debajo del nivel de reducción de potencia, mientras que se permite aumentar la velocidad de rotación del rotor 14. Como se describió anteriormente, típicamente, durante la reducción de potencia, las palas 24 están colocadas de manera que el viento pasa sobre las palas 24, minimizando de este modo el efecto que tiene el viento en las palas 24 y reduciendo la velocidad de rotación del rotor 14. En contraste, en la realización de ejemplo, el procedimiento incluye el ajuste de la operación de la turbina eólica 10 para facilitar el aumento de la velocidad de rotación del rotor 14 durante la reducción de potencia por encima de una velocidad nominal óptima para una curva de par-potencia. En una realización alternativa, el sistema de control 36 está configurado para ajustar un ángulo de viraje del cuerpo 12 (mostrado en la figura 2) mediante el control del sistema de viraje 48 (que se muestra en la figura 2). El sistema de control 36 puede estar configurado para ajustar el ángulo de paso de las palas 24 y/o un ángulo de guiñada del cuerpo 12, de tal manera que la velocidad del rotor puede aumentar por encima de la velocidad nominal óptima para la curva de par-potencia, pero no aumenta más que una velocidad nominal máxima predeterminada del rotor. La velocidad nominal máxima predeterminada del rotor facilita la prevención o la minimización de daños en la turbina eólica 10 debido a una condición de exceso de velocidad. El ajuste de la operación de la turbina eólica 10 facilita la captura de la energía aerodinámica en el aire (por ejemplo, que se habría perdido debido a la reducción de potencia) y el almacenamiento de la energía aerodinámica en forma de energía inercial en la rotación del tren de accionamiento 40 de la turbina eólica 10.

En la realización de ejemplo, el procedimiento también incluye la liberación 76 de la reducción de potencia de la turbina eólica. En la realización de ejemplo, el sistema de control 36 determina cuándo liberar la reducción de potencia 76 en base, al menos parcialmente, a la generación de energía monitorizada 70 y la demanda de la red de alimentación. Alternativamente, el sistema de control 36 determina cuándo liberar la reducción de potencia en base, al menos parcialmente, a un horario de reducción de potencia. Aunque se describe como determinándose mediante el sistema de control 36, una determinación en cuanto a liberar 76 la reducción de potencia también puede realizarse mediante un controlador centralizado del parque eólico (no mostrado en la figura 3) o mediante cualquier otro dispositivo adecuado. La liberación 76 de la reducción de potencia de la turbina eólica incluye la operación de ajuste de la turbina eólica 10 para permitir aumentar la salida de potencia de la turbina eólica 10 a un nivel de potencia mayor que el nivel de reducción de potencia. Por ejemplo, se pueden ajustar el paso de las palas, el ángulo de guiñada, y/o la demanda de par del generador 26.

En la realización de ejemplo, el procedimiento también incluye la extracción de la energía inercial 78 almacenada en el tren de accionamiento 40 en caso de liberación 76 de la reducción de potencia. En la realización de ejemplo, un dispositivo de extracción está configurado para extraer la energía inercial 78 almacenada en el tren de accionamiento 40. Un convertidor de frecuencia, por ejemplo, el convertidor de frecuencia 44 (que se muestra en la figura 2) puede estar configurado para extraer la energía inercial 78 almacenada en el tren de accionamiento 40 en caso de liberación 76 de la reducción de potencia. Aunque se ha descrito en este documento como un convertidor de frecuencia, el dispositivo de extracción puede ser cualquier dispositivo que permita que la turbina eólica 10 funcione como se describe en este documento. Para extraer la energía inercial 78 almacenada en el tren de accionamiento 40, el convertidor de frecuencia 44 puede estar configurado para aumentar una demanda de par en el generador 26 después de la liberación de la reducción de potencia de la turbina eólica. El aumento de la demanda de par en el generador 26 facilita la conversión de la energía inercial almacenada en el tren de accionamiento 40 de la turbina eólica 10 en energía eléctrica para su suministro a una red de alimentación. Más específicamente, para aumentar la demanda de par en el generador 26, el convertidor de frecuencia 44 puede estar configurado para ajustar una fase de generador 26 para aumentar el par del generador.

La figura 4 es un gráfico 80 de velocidades del rotor de ejemplo (n) 82 y la correspondiente potencia generada (P) 84 mediante, por ejemplo, el generador 26 (que se muestra en la figura 2) a lo largo del tiempo (t). Por ejemplo, la potencia generada 84 puede medirse en kilovatios (kW), las velocidades 82 del rotor pueden medirse en radianes por segundo (rad/s), y el tiempo puede medirse en segundos (s). En la realización de ejemplo, un nivel de reducción de potencia 90 está predeterminado para ser X% de una potencia máxima capaz de generarse, por ejemplo, mediante la turbina eólica 10 (mostrada en la figura 1). En la realización de ejemplo, en un primer momento 92, la velocidad 82 del rotor aumenta a un nivel donde la potencia 84 generada se eleva sobre el nivel de reducción de potencia 90. En la realización de ejemplo, para que la generación de potencia 84 se mantenga en o por debajo del nivel de reducción de potencia 90, se reduce una demanda de par en el generador 26. En la realización de ejemplo, la velocidad 82 del rotor se deja aumentar por encima del nivel de reducción de potencia 90, por ejemplo, en un momento 94. Por ejemplo, el sistema de control 36 está configurado para ajustar el paso de las palas 24 (que se muestra en la figura 2) de tal manera que la velocidad 82 del rotor aumente más allá de nivel de reducción de potencia 90, pero no aumente más allá de una velocidad del rotor de potencia máxima. Al facilitar activamente este aumento en la velocidad 82 del rotor, la energía aerodinámica del viento se captura como energía inercial, que se almacena en el tren de accionamiento 40 (es decir, los componentes rotativos) de la turbina eólica 10.

En la realización de ejemplo, cuando la velocidad 82 del rotor disminuye, por ejemplo, debido a la reducción de la

velocidad del viento, el ajuste del paso de las palas, y/o al ajuste del ángulo de guiñada, la potencia generada 84 se reduce por debajo del nivel de reducción de potencia 90 en el momento 96. En la realización de ejemplo, en el momento 96, se libera la reducción de potencia. Además, en el momento 96, se proporciona una señal a, o se genera por, por ejemplo, el sistema de control 36, lo que indica un deseo de tener más potencia de salida. La señal puede generarse automáticamente mediante el sistema de control 36 (por ejemplo, bajo la reducción de potencia de la potencia generada 84 debajo del nivel de reducción de potencia 90) y/o puede proporcionarse manualmente por parte de un operador de la turbina eólica 10. En la realización de ejemplo, el sistema de control 36 proporciona un dispositivo de extracción, por ejemplo, el convertidor de frecuencia 44 (que se muestra en la figura 2) con un aumento del valor de la demanda de par. El valor de la demanda de par aumentado provoca que el convertidor de frecuencia 44 cambie la excitación del generador 26, lo que hace que la potencia generada 84 aumente a una potencia generada 98. El aumento del valor de demanda de par facilita la conversión de la energía inercial almacenada en los componentes giratorios de la turbina eólica 10 en potencia eléctrica para su suministro a la red de alimentación. La potencia eléctrica adicional convertida a partir de la energía inercial se ilustra en la figura 4 en el área sombreada 100 y en el área sombreada 102. Por ejemplo, en el momento 104, sin capturar la energía inercial, la energía generada 84 estaría en un nivel de potencia 106. El nivel de potencia 106 se obtiene sólo a través de la conversión de la energía eólica actualmente disponible en energía giratoria mediante las palas 24. En contraste, en el momento 104, la potencia generada 98 es un nivel de potencia 108 generado por la conversión de la energía inercial almacenada en potencia eléctrica, además de la conversión de la energía eólica actualmente disponible en potencia eléctrica.

La figura 5 es un gráfico 120 que ilustra los cambios en una velocidad 122 del generador, medida en revoluciones por minuto (rpm), durante un período de tiempo 124, medido en segundos (s). La figura 6 es un gráfico 130 que ilustra los cambios en una potencia de salida 132 del generador, medida en kilovatios (kW), a lo largo de un período de tiempo 124. La figura 7 es un gráfico 140 que ilustra los cambios en un nivel de energía 142 de salida del generador, medido en kilovatios-segundo (kWs), a lo largo del período de tiempo 124. Las figuras 5 a 7 son ilustrativas del comportamiento de un generador de turbina eólica, por ejemplo, el generador 26 (que se muestra en la figura 2) de la turbina eólica 10 (que se muestra en la figura 2). En el ejemplo ilustrado, una velocidad 122 del generador sustancialmente constante a partir de un momento 148 a un momento 150 produce una potencia de salida 132 del generador sustancialmente constante. Entre el momento 148 y el momento 150, el generador 26 y el rotor 14 se encuentran en equilibrio. En el ejemplo ilustrado, en el momento 150 se proporciona una señal a, o se genera por, por ejemplo, el sistema de control 36, lo que indica un deseo de tener más potencia de salida 132. La señal puede generarse automáticamente por el sistema de control 36 (por ejemplo, en la reducción de potencia de la potencia de salida 132 por debajo de un nivel de reducción de potencia, por ejemplo, en el momento 96 (que se muestra en la figura 4)) y/o puede proporcionarse manualmente por parte de un operador de la turbina eólica 10. En la realización de ejemplo, el sistema de control 36 proporciona un dispositivo de extracción, por ejemplo, el convertidor de frecuencia 44 (que se muestra en la figura 2), con una señal que dirige el convertidor de frecuencia 44 para extraer la energía inercial almacenada en el tren de accionamiento 40. Por ejemplo, el sistema de control 36 puede proporcionar al convertidor de frecuencia 44 un aumento del valor de la demanda de par. El valor de la demanda de par incrementado provoca que el convertidor de frecuencia 44 cambie la excitación del generador 26, lo que provoca el aumento de la potencia de salida 132 que se muestra entre el momento 150 y el momento 152. El convertidor de frecuencia 44 aplica más par al generador 26 que se aplica al rotor 14 mediante el viento, lo que hace que la velocidad del rotor, y por lo tanto la velocidad 122 del generador 122, disminuya después del momento 150.

A pesar de que la velocidad 122 del generador disminuye después del momento 150, la potencia de salida 132 del generador aumenta debido a la liberación de la energía inercial almacenada en tren de accionamiento 40 de la turbina eólica 10. En el momento 152, la potencia de salida 132 del generador alcanza una potencia máxima y empieza a disminuir a medida que la energía inercial almacenada se convierte en energía eléctrica (es decir, la potencia de salida 132). Además, en un momento 154 se disipa la energía inercial almacenada en tren de accionamiento 40 de la turbina eólica 10. Después del momento 154, la potencia de salida 132 del generador sólo se genera a partir de energía aerodinámica capturada por las palas 24 del viento.

Se describen en este documento procedimientos y sistemas de ejemplo para extraer energía inercial de una turbina eólica. Más específicamente, los procedimientos y sistemas descritos en este documento permiten el almacenamiento activo de energía inercial durante la operación de reducción de potencia de una turbina eólica, y la conversión de la energía inercial en potencia eléctrica al liberar la operación de reducción de potencia. Los procedimientos y sistemas descritos en este documento facilitan la generación de potencia eléctrica a partir de energía inercial, además de la energía aerodinámica capturada, durante una caída de la velocidad del viento.

Varios de los procedimientos y sistemas descritos en este documento facilitan una operación eficiente y económica de una turbina eólica. Ejemplos de realización de los procedimientos y sistemas se describen y/o se muestran en este documento en detalle. Los procedimientos y sistemas no se limitan a las realizaciones específicas descritas en este documento, sino más bien, los componentes de cada sistema, así como las etapas de los procedimientos, se pueden utilizar de forma independiente y por separado de otros componentes y etapas descritas en este documento. Cada componente, y cada etapa de procedimiento, también se pueden utilizar en combinación con otros componentes y/o etapas de procedimiento. Aunque se ha descrito en este documento en el contexto de una turbina eólica, los procedimientos y los sistemas descritos en este documento pueden aplicarse a, por ejemplo, sin limitación, plantas de energía que incluyen turbinas hidroeléctricas o turbinas de vapor.

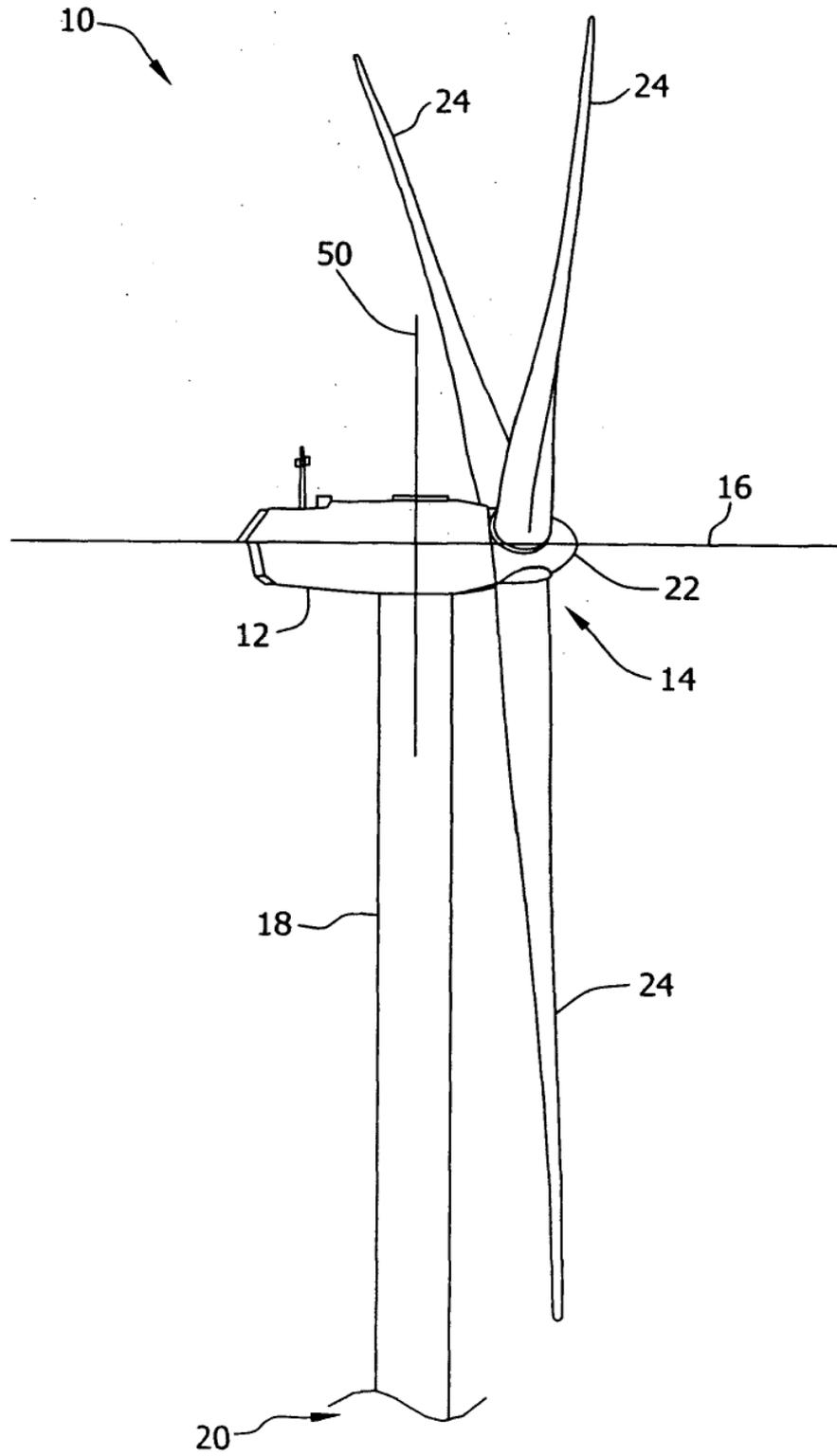
5 Cuando se introducen elementos/componentes/etc. de los procedimientos y sistemas descritos y/o ilustrados en este documento, los artículos "un", "una", "el" y "dicho" pretenden significar que hay uno o más del elemento(s)/componente(s)/etc. Los términos "que comprende", "que incluye" y "que tiene" pretenden ser inclusivos y significan que puede haber elemento(s)/componente(s)/etc. adicionales diferentes del elemento(s)/componente(s)/etc. indicados.

10 La presente descripción utiliza ejemplos para divulgar la invención, incluyendo el modo preferido, y también para permitir que cualquier persona experta en la materia ponga en práctica la invención, incluyendo la realización y el uso de dispositivos o sistemas y la realización de cualquiera de los procedimientos incorporados. El alcance patentable de la invención se define en las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que sean producidos por los expertos en la materia. Tales otros ejemplos están destinados a estar 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 no sustanciales del lenguaje literal de las reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Sistema de operación de una turbina eólica (10) durante una operación de reducción de potencia, comprendiendo la turbina eólica que comprende un generador (26) y un rotor (14) de turbina eólica que tiene al menos una pala (24) de rotor, comprendiendo también la turbina eólica un tren de accionamiento (40) que incluye al menos un árbol (28) acoplado al rotor de la turbina eólica y configurado para accionar el generador, comprendiendo dicho sistema (10):
- 5
- un sistema de control (36) configurado para aumentar una velocidad de rotación del rotor (14) de la turbina eólica más allá de una velocidad nominal óptima para la turbina eólica (10) determinada a partir de una curva de par-potencia (80) del mismo, pero no mayor que una velocidad nominal del rotor predeterminada durante la operación de reducción de potencia de la turbina eólica, almacenando así en tren de accionamiento giratorio energía aerodinámica que de otro modo se habría perdido debido a la reducción de potencia, estando dicho sistema de control (36) también configurado para reducir una demanda de par en el generador (26) de tal manera que la potencia generada (84) se mantenga en, o por debajo de, un nivel de reducción de potencia predeterminado (90) durante dicha operación de reducción de potencia; y
- 10
- un convertidor de frecuencia (44) configurado para controlar la excitación del generador (26) para aumentar la demanda de par en el generador (26) después de la liberación de la operación de reducción de potencia para extraer la energía inercial almacenada en el tren de accionamiento (40) bajo la liberación de la operación de reducción de potencia.
- 15
2. Sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicho sistema de control (36) está configurado para permitir que la velocidad del rotor aumente a la velocidad nominal máxima del rotor.
- 20
3. Sistema de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que dicho sistema de control (36) está configurado para ajustar al menos uno de un paso de la al menos una pala (24) de rotor y un ángulo de guiñada de la turbina eólica (10) para facilitar el control de la velocidad de rotación del rotor (14).
4. Sistema de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el sistema de control (36) está configurado además para:
- 25
- monitorizar la generación de potencia;
- monitorizar la demanda de potencia de la red; e
- iniciar la reducción de potencia de la turbina eólica (10) cuando la generación de potencia es superior a la demanda de potencia de la red.
- 30
5. Sistema de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el sistema de control (36) está configurado además para:
- monitorizar la generación de potencia del generador (26); e
- iniciar la reducción de potencia de la turbina eólica (10) cuando la generación de potencia es superior a un nivel de generación de potencia almacenada.

FIG. 1



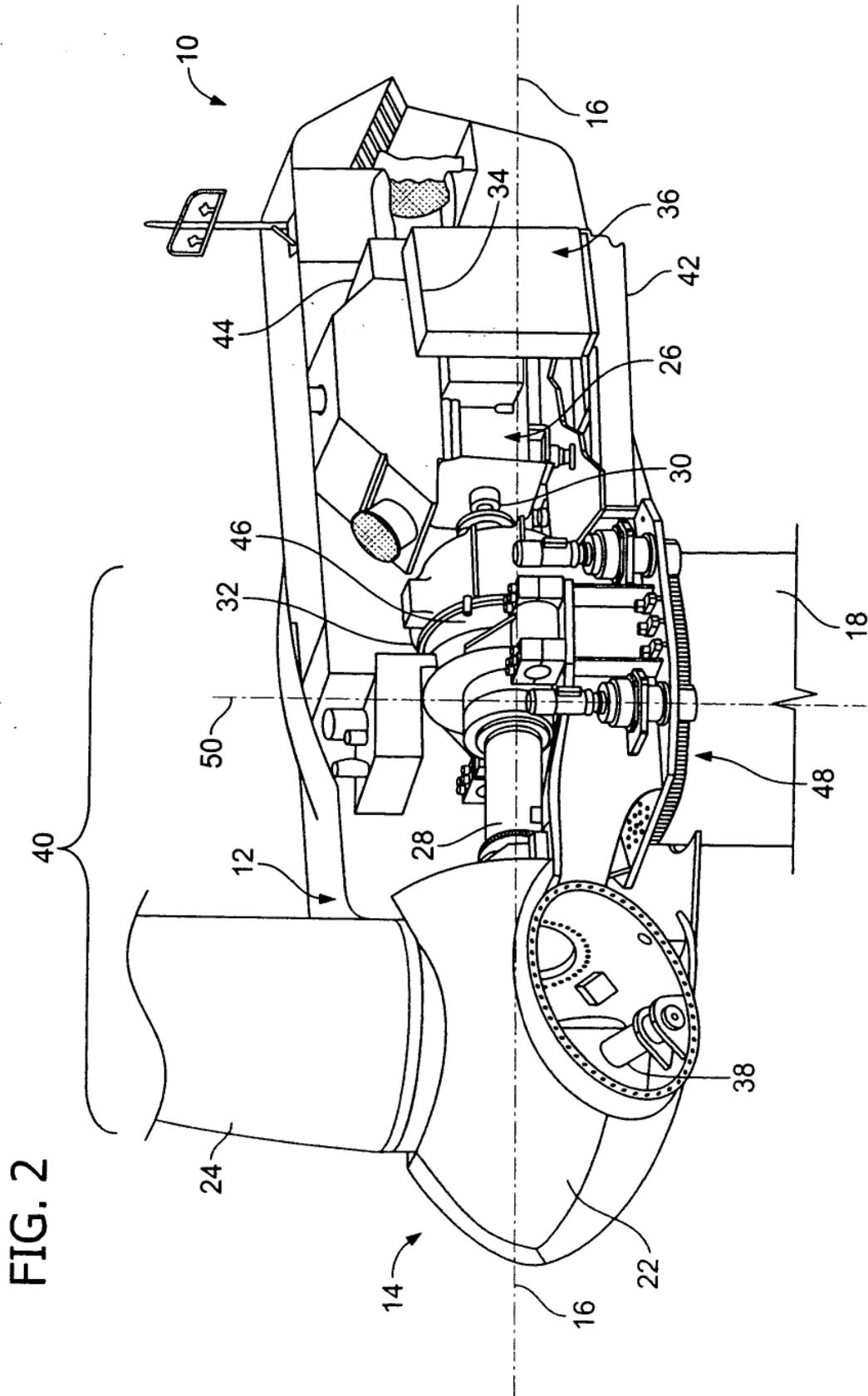


FIG. 2

FIG. 3

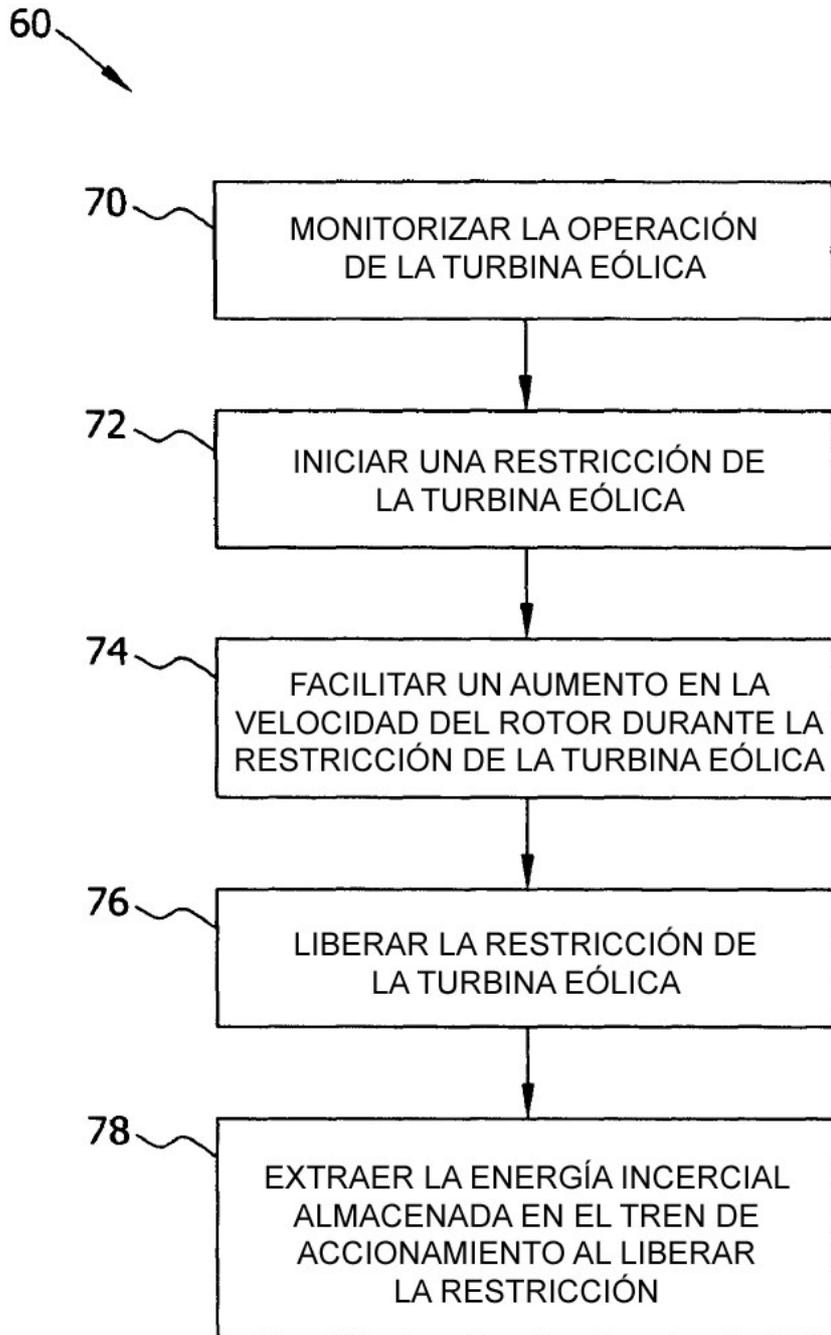


FIG. 4

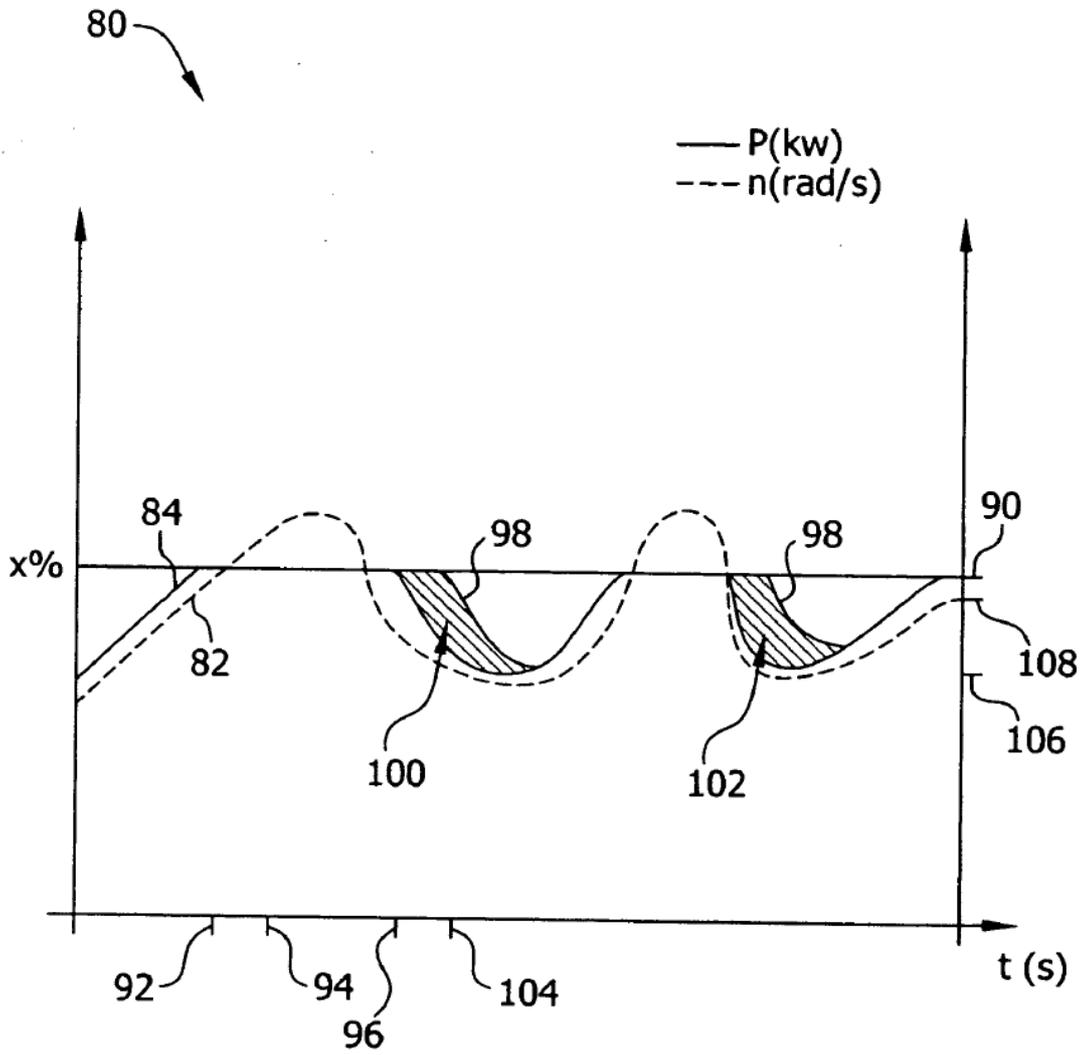


FIG. 5

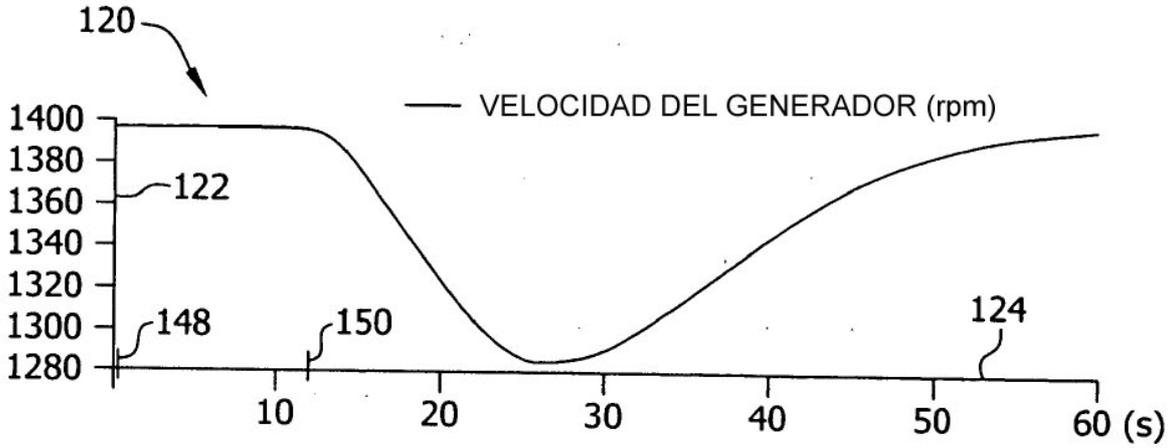


FIG. 6

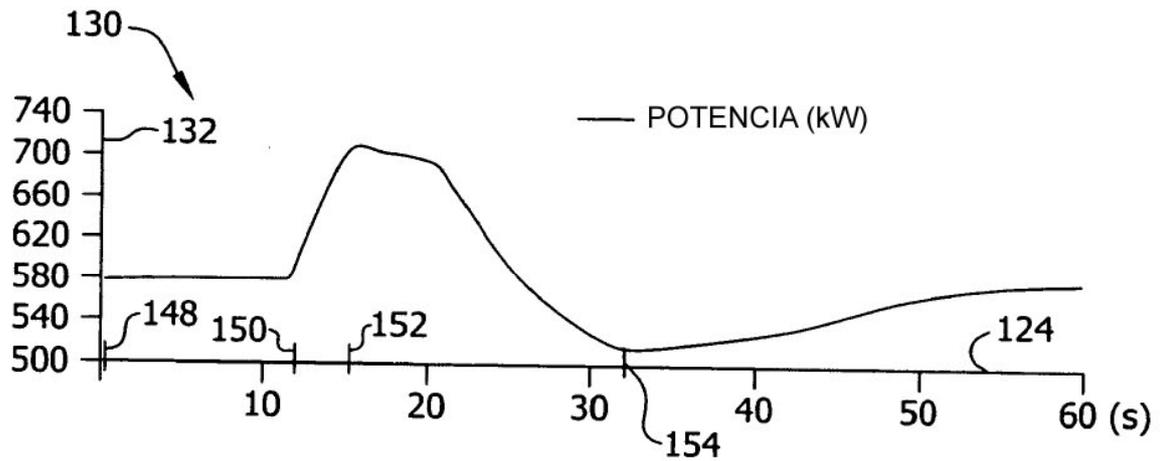


FIG. 7

