

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 643 238**

51 Int. Cl.:

F03D 9/00 (2006.01)

H02P 9/00 (2006.01)

F03D 9/25 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.04.2013** **E 13163749 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.07.2017** **EP 2653720**

54 Título: **Turbina eólica con un generador principal y uno secundario, y método de operación de dicha turbina eólica**

30 Prioridad:

16.04.2012 DK 201270189

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

21.11.2017

73 Titular/es:

**ENVISION ENERGY (DENMARK) APS (100.0%)
Torvet 11 2
8600 Silkeborg, DK**

72 Inventor/es:

ZHU, HONGDONG

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 643 238 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

Turbina eólica con un generador principal y uno secundario, y método de operación de dicha turbina eólica

5 **Campo de la invención**

La presente invención se refiere a una turbina eólica con un generador principal y uno secundario, a un método de reacondicionamiento de una turbina eólica que tiene un generador principal para que tenga también un generador secundario y a un método de operación de dichas turbinas eólicas.

10 En particular, la presente invención se refiere a una turbina eólica del tipo de velocidad variable, que comprende: una torre de la turbina eólica; una góndola dispuesta en dicha turbina eólica; un buje del rotor de la turbina eólica montado con la rotación permitida en dicha góndola, donde dicho buje del rotor de la turbina eólica tiene al menos una pala de turbina eólica montada en este, y un eje acoplado a dicho buje del rotor de la turbina eólica y, de
15 manera opcional a través de una caja de engranajes, a un generador principal que a través de cables eléctricos tiene un estátor principal conectado eléctricamente a una conexión de la red, y un rotor principal conectado eléctricamente a un convertidor *back-to-back* en un extremo del convertidor del lado del generador y donde el convertidor *back-to-back* en un extremo del convertidor del lado de la red está conectado eléctricamente a la conexión de la red. La turbina eólica comprende además un generador secundario acoplado al eje a través de un acoplamiento mecánico y
20 conectado eléctricamente al rotor principal del generador principal y al extremo del convertidor del lado del generador del convertidor *back-to-back*.

Antecedentes de la invención

25 Los antecedentes de la invención son un dispositivo de generación de potencia híbrido del que existe constancia a partir del documento US 7.518.257 B2, que expone una turbina eólica con un generador eléctrico principal y un generador eléctrico auxiliar con características diferentes. El generador principal es una configuración de generador de inducción doblemente alimentado (DFIG), mientras que el generador secundario es una configuración de generador sincronizado (SG). El generador principal está acoplado a un lado del primer generador del convertidor
30 *back-to-back* mientras que el generador secundario está acoplado a un lado del segundo generador del convertidor *back-to-back*. El generador secundario está acoplado al enlace de CC en el convertidor y se utiliza para suministrar potencia al lado de la red del convertidor en el caso de un fallo en el tren motriz o de una caída de potencia en la red. Esta configuración tiene el inconveniente de que requiere la utilización de dos lados diferentes del generador, cada uno diseñado para ajustarse al rango de potencia de un tipo particular de generador. Esto a su vez aumenta la
35 complejidad y el número de componentes del convertidor de potencia. Esta configuración no proporciona medios para una transición suave cuando se conmuta el generador DFIG, lo que puede introducir picos de potencia o momento en el tren motriz que den como resultado fallos durante el funcionamiento.

40 Es ampliamente conocido que los generadores de imanes permanentes son costosos y que los sistemas de turbinas eólicas con convertidores a escala completa son costosos.

Una solución muy conocida a esto es una configuración DFIG, donde el estátor del generador está conectado directamente a la red, y el rotor está conectado a un convertidor *back-to-back* de un tamaño menor. Esta configuración es ampliamente conocida y ventajosa ya que en comparación con una configuración de convertidor a
45 escala completa requiere únicamente un convertidor que tenga aproximadamente un tercio del tamaño del convertidor necesario en una configuración a escala completa, donde se convierte toda la potencia. Por tanto, el convertidor se hace más pequeño, más efectivo y mucho más rentable.

50 No obstante, la configuración DFIG tiene un inconveniente, ya que una turbina eólica no produce electricidad a velocidades del viento bajas.

En particular, existen sistemas DFIG en el mercado y están disponibles fácilmente en el rango de potencia del MW.

55 Los generadores de imanes permanentes (PM, por sus siglas en inglés) existen y son ventajosos debido a que no necesitan una potencia excitadora, y por tanto en turbinas eólicas tienen una eficiencia relativamente alta a todas las velocidades del viento. No obstante, los generadores basados en PM son costosos debido a los altos costos de los sistemas en el rango de potencia del MW.

60 El documento EP 1804372 A2 expone un sistema generador para su utilización en una turbina eólica que comprende una configuración DFIG principal y un generador síncrono secundario, donde el estátor del DFIG principal está conectado directamente a un sistema de CA y el rotor está conectado al lado del generador de un convertidor de potencia principal, que se conecta además en el lado de la red al sistema de CA. El generador secundario está acoplado mecánicamente al eje principal, donde el generador secundario se conecta además a un
65 circuito rectificador de un convertidor de potencia secundario. Una unidad de batería del convertidor de potencia secundario está conectada al enlace de CC en el convertidor de potencia principal. El generador secundario se utiliza para suministrar potencia auxiliar al convertidor de potencia principal cuando la potencia principal falla.

El documento US 2007/0216164 A1 expone una turbina eólica con una configuración DFIG y una máquina excitadora. El estátor del DFIG está conectado directamente a una red y el rotor está conectado al lado del generador de un convertidor de potencia. La máquina excitadora está acoplada mecánicamente al eje principal y conectada al lado de la red del convertidor de potencia. En un modo de operación síncrono, la máquina excitadora puede operar como un generador cuando la velocidad del rotor está por debajo de una velocidad teórica, donde la potencia de la máquina excitadora se suministra al rotor del generador principal. En esta configuración, el convertidor de potencia no está conectado a la red, únicamente el estátor del DFIG está conectado a la red.

Objeto de la invención

Es un objeto de la presente invención proporcionar una turbina eólica del tipo de velocidad variable con una eficiencia relativamente alta en un rango amplio de velocidades del viento, que comienzan desde velocidades del viento bajas de tan solo, por ejemplo, aproximadamente 2 m/s.

Un objeto adicional de la presente invención es proporcionar una turbina eólica del tipo de velocidad variable que sea efectiva y tenga un tamaño razonable con respecto a los costes y el rango de potencia, y operacional a velocidades del viento más altas de hasta, por ejemplo, aproximadamente 20 m/s.

Es un objeto de la presente invención proporcionar una turbina eólica de un tipo de velocidad variable que se pueda controlar con facilidad en un rango amplio de velocidades del viento, que comienzan desde velocidades del viento bajas.

Es un objetivo de la presente invención proporcionar una turbina eólica de velocidad variable que sea fiable y efectiva a velocidades del viento bajas, por ejemplo, por debajo de 3-6 o 5-6 m/s, así como también a velocidades del viento más altas.

Es un objeto de la presente invención proporcionar un método para extender la utilidad de una turbina eólica existente con una velocidad variable; y en particular en el rango desde 1 MW, y preferentemente desde 1.5 MW y por encima.

Es un objeto de la presente invención proporcionar un método de control de una turbina eólica con velocidad variable para proporcionar una eficiencia relativamente alta en un rango más amplio de velocidades del viento, que comienzan desde velocidades del viento bajas de tan solo, por ejemplo, aproximadamente 2 m/s.

Descripción de la invención

En consecuencia, esto se logra mediante una turbina eólica del tipo de velocidad variable, que comprende:

- una torre de la turbina eólica;
- una góndola dispuesta en dicha turbina eólica;
- un buje del rotor de la turbina eólica montado con la rotación permitida en dicha góndola, teniendo dicho buje del rotor de la turbina eólica al menos una pala de la turbina eólica montada en este;
- un eje acoplado a dicho buje del rotor de la turbina eólica y, de manera opcional, a través de una caja de engranajes,
- un generador principal, que a través de los cables eléctricos tiene un estátor principal conectado eléctricamente a una conexión de la red y un rotor principal conectado eléctricamente a
- un convertidor *back-to-back* en un extremo del convertidor del lado del generador, y donde el convertidor *back-to-back* en un extremo del convertidor del lado de la red está conectado eléctricamente a la conexión de la red;
- un generador secundario acoplado al eje a través de un acoplamiento mecánico y conectado eléctricamente al rotor principal del generador principal y al extremo del convertidor del lado del generador del convertidor *back-to-back*;
- un controlador con capacidades de control y medios de conexión a:
 - un primer interruptor entre el generador principal y la conexión de la red;
 - un segundo interruptor entre el extremo del convertidor del lado del generador del convertidor *back-to-back* y el generador secundario;
 - un tercer interruptor entre el extremo del convertidor del lado del generador del convertidor *back-to-back* y el generador principal;

y en la que el controlador y los interruptores se configuran de forma que activen/desactiven la potencia de dicho generador principal y dicho generador secundario al convertidor *back-to-back* y a una red.

De ese modo, se proporciona una configuración de turbina eólica, donde la configuración permite una eficiencia más alta en un rango más amplio de velocidades del viento, ya que el generador principal proporciona una eficiencia alta a velocidades del viento más altas, y el generador secundario proporciona una eficiencia alta a velocidades del viento más bajas, debido a la conexión eficiente del generador principal y del generador secundario y la utilización cruzada del convertidor *back-to-back*.

En particular, la configuración es adecuada para turbinas eólicas con una potencia teórica por encima de 1 MW, ya que esas turbinas tienen trenes motrices y componentes del sistema efectivos que incluyen sistemas de convertidores *back-to-back* fiables.

Por turbina eólica del tipo de velocidad variable se sobreentiende una turbina eólica donde el rotor eólico se pueda operar a velocidad variable mediante la utilización de un convertidor *back-to-back* o inversor insertado entre el generador y el punto de conexión de la red para permitir que la turbina eólica esté conectada a una red eléctrica.

Habitualmente, el convertidor *back-to-back* es de aproximadamente un cuarto a un tercio de la potencia teórica y se configura de forma que equilibre o se ajuste a la potencia generada por un generador con las condiciones de potencia de una red.

De acuerdo con una realización de la turbina eólica, esta es especial ya que el generador principal es un generador DFIG.

Por tanto, se puede utilizar la tecnología de generadores estándar ampliamente conocida como parte de un tren motriz de la turbina eólica.

En particular, cuando la velocidad del viento está por encima de, por ejemplo, 5-6 m/s, la turbina puede operar en un modo solo con DFIG, donde el estátor del DFIG se conecta a la red y el rotor se conecta al convertidor *back-to-back*.

Dicho modo solo con DFIG es ventajoso para turbinas eólicas típicas de 1.0 MW o más, y en particular ventajoso para una turbina eólica con una potencia nominal de 1.5 MW que a velocidades del viento de aproximadamente 5-6 m/s y por encima tiene una velocidad del rotor de aproximadamente 10-20 rpm, lo que genera una potencia nominal de 1.5 MW hasta velocidades del viento de aproximadamente 21 m/s, donde se desconecta la turbina eólica.

De acuerdo con una realización de la turbina eólica, esta es especial ya que dicho generador secundario es un generador de imanes permanentes, tal como un generador de imanes permanentes PMHS, PMMS, PMDD u otro alternativo o equivalente.

El generador de imanes permanentes tiene un acoplamiento mecánico al eje y su estátor conectado eléctricamente entre el generador principal y el extremo del convertidor del lado del generador del convertidor *back-to-back*.

Por tanto, se puede utilizar la tecnología de generadores de imanes permanentes estándar ampliamente conocida de tamaño relativamente pequeño.

En particular, cuando la velocidad del viento está por debajo de dichos 5-6 m/s, la turbina puede operar en un modo solo con PM, donde el estátor del DFIG se desconecta de la red y el rotor se desconecta del convertidor *back-to-back*.

En el modo PM, el estátor del generador PM se conectará al convertidor *back-to-back* y trabajará en un modo de conversión de potencia total. Por tanto, la velocidad del rotor, del rotor, se puede reducir a velocidades del viento menores (de 5-6 m/s) e incluso muy bajas (por ejemplo, 1-2 m/s).

De acuerdo con una realización de la turbina eólica, esta es especial ya que dicho generador secundario tiene una salida de potencia máxima Ps de entre 50 kW y 230 kW, y/o el generador principal tiene una salida de potencia máxima Pp de al menos 1 MW, preferentemente de aproximadamente 1.5 MW.

De ese modo, se puede lograr una utilización óptima del convertidor *back-to-back* ya que el convertidor *back-to-back* está diseñado habitualmente para aproximadamente un 20-35% de la potencia teórica del generador principal, y por tanto tiene una capacidad para admitir la potencia total del imán permanente.

Asimismo, comenzando con un generador secundario que tiene una salida de potencia máxima Ps de entre 50 kW y 230 kW y un convertidor *back-to-back* sobredimensionado, que se diseña para ajustarse al generador principal con una salida de aproximadamente 1 MW, o preferentemente 1.5 MW, el generador de imanes permanentes podrá captar energía en los rangos de velocidades del viento más bajas.

El acoplamiento de entrada y salida de los generadores principal y secundario se puede controlar. En un aspecto de la invención, la configuración de controlador e interruptor puede controlar la turbina eólica de modo que opere en un modo DFIG u opere en un modo PM.

Asimismo, el controlador y los interruptores se pueden utilizar para poner en marcha, detener, aumentar la potencia y disminuir la potencia de la turbina.

En particular, el controlador y el interruptor se pueden utilizar para controlar el interruptor operativo entre los dos modos, es decir, el modo solo con DFIG y el modo solo con PM.

5 En un aspecto, el controlador detiene la turbina, es decir, inicia una secuencia de disminución de la potencia que conduce a una detención de la turbina. Esto va seguido de una secuencia de aumento de la potencia que conduce a una puesta en marcha del modo solo con DFIG o del modo solo con PM.

10 En un aspecto, el controlador reduce la salida de potencia a cero y mantiene la velocidad del rotor en un cierto valor, y a continuación abre y cierra los interruptores, tal como se expone, de forma que esté en el modo solo con DFIG o en el modo solo con PM. Conectándose después a una red e incrementando la potencia hasta el nivel de potencia necesario o deseado.

15 En una realización preferida, hay un umbral de conexión (o cambio de modo) que es diferente a un umbral de desconexión (o cambio de modo), lo que evita de esa forma transiciones frecuentes entre los dos modos.

20 En un aspecto, hay un procedimiento o secuencia de puesta en marcha que depende de una entrada de la velocidad del viento. La secuencia de puesta en marcha se puede ejecutar tal como se expone anteriormente. La velocidad del viento se puede medir mediante un anemómetro o un dispositivo de medición de la velocidad del viento equivalente, o se puede inferir mediante la velocidad del rotor.

25 En un aspecto donde la velocidad del viento es baja, por ejemplo, 3-5 m/s, un rotor de tres palas típico con una potencia nominal de aproximadamente 1.5 MW rotará a aproximadamente 6-7 rpm, hay una secuencia y configuración adicionales que inclinarán las palas para el denominado paso rápido, lo que reduce o elimina de esa forma el riesgo de alcanzar una frecuencia mecánica de resonancia de la torre cuando una pala pasa por la torre. Esta secuencia se puede calificar un modo de frecuencia 3P.

Cada una de las secuencias o modos operativos mencionados y los derivados de estos son adecuados para ser programados, y como tal constituyen métodos de operación de la turbina eólica.

30 De acuerdo con una realización de la turbina eólica, esta es especial ya que dicho controlador se configura de forma que controle y regule continuamente al menos uno de dichos interruptores para un flujo de potencia entre desactivado (nula producción de potencia) y activado (máxima producción de potencia).

35 De esa manera, se pueden obtener modos operativos combinados. Asimismo, se puede evitar una conmutación frecuente y se pueden lograr unas transiciones más suaves, lo que reduce o incluso elimina potencialmente de esa manera los picos de potencia después de la parte eléctrica del tren motriz, al igual que se pueden reducir potencialmente los picos mecánicos en los momentos, lo que reduce en general de esa manera la introducción de fallos (eléctricos o mecánicos) durante el funcionamiento.

40 De acuerdo con una realización de la turbina eólica, esta es especial ya que dicho controlador se configura además de forma que controle dicho extremo del convertidor del lado del generador del convertidor *back-to-back* por medio de los controles del lado del generador y/o de forma que controle dicho extremo del convertidor del lado de la red del convertidor *back-to-back* por medio de los controles del lado de la red y/o de forma que controle la rotación del rotor de la turbina eólica mediante los controles del rotor.

45 De esa manera se proporciona un control global e integrado del sistema de potencia de la turbina eólica y de la conexión a la red y la desconexión de esta.

50 En un aspecto de la invención, se procesan las medidas de la situación de la red y se utilizan para iniciar una conmutación de un modo a otro modo operativo. Es decir, por ejemplo, de un modo solo con DFIG a un modo solo con PM o viceversa.

55 De acuerdo con una realización de la turbina eólica, esta es especial ya que dicho generador secundario comprende un eje del generador secundario acoplado mecánicamente mediante un acoplamiento a un eje del generador principal; donde el acoplamiento mecánico es preferentemente un acoplamiento del tipo con correa dentada.

60 De esa manera se proporciona un acoplamiento mecánico o transferencia de energía efectivo y simple desde el eje del generador principal hasta el generador secundario. Asimismo, el generador secundario está acoplado eléctricamente al convertidor *back-to-back* de una forma que utiliza los cables eléctricos entre el generador principal y el convertidor *back-to-back*.

65 De acuerdo con una realización de la turbina eólica, esta es especial ya que dicho generador secundario comprende un eje del generador secundario acoplado mecánicamente mediante un acoplamiento directamente a un eje del generador principal; donde el acoplamiento mecánico es preferentemente un acoplamiento directo de uno con otro, tal como una extensión del eje.

De esa manera se proporciona un acoplamiento directo o transferencia de energía efectivo y simple desde el eje del rotor hasta el generador secundario.

En un aspecto adicional, hay una disposición de engranajes o una disposición de acoplamiento entre el eje del generador principal y el eje del generador secundario.

De acuerdo con una realización de la turbina eólica, esta es especial ya que dicho generador secundario comprende un eje del generador secundario acoplado mecánicamente mediante un acoplamiento al eje; donde el acoplamiento mecánico es preferentemente un acoplamiento secundario del tipo con caja de engranajes.

De esa manera se proporciona un acoplamiento o transferencia de energía efectivo y simple desde el eje del rotor hasta el generador secundario. Esta configuración es particularmente ventajosa ya que proporciona dos trenes motrices distintos más, ya que el generador secundario se puede acoplar al eje del rotor más directamente. En principio, la turbina eólica se puede operar mientras se mantiene cualquiera de los sistemas generadores principal o secundario.

De acuerdo con una realización de la turbina eólica, esta es especial ya que la turbina eólica tiene palas que se pueden inclinar total o parcialmente.

Estas se pueden inclinar para reducir las cargas durante la conmutación entre los modos operativos.

El objetivo de la invención se cumple mediante un método de producción de una turbina eólica tal como se expone, y que comprende los pasos de:

- proporcionar una turbina eólica del tipo de velocidad variable, que comprende:
 - una torre de la turbina eólica;
 - una góndola dispuesta en dicha turbina eólica;
 - un buje del rotor de la turbina eólica montado con la rotación permitida en dicha góndola, teniendo dicho buje del rotor de la turbina eólica al menos una pala de la turbina eólica montada en este;
 - un eje acoplado a dicho buje del rotor de la turbina eólica y, de manera opcional, a través de una caja de engranajes,
 - un generador principal, que a través de los cables eléctricos tiene un estátor principal conectado directamente a una conexión de la red y un rotor principal conectado directamente a
 - un convertidor *back-to-back* en un extremo del convertidor del lado del generador, y en la que el convertidor *back-to-back* en un extremo del convertidor del lado de la red está conectado a la conexión de la red;
- proporcionar un generador secundario; y
- reacondicionar el generador secundario en el eje o en el eje del generador principal mediante un acoplamiento mecánico y conectar el generador secundario a los cables eléctricos entre el generador principal y el convertidor *back-to-back* y
- reacondicionar
 - un primer interruptor entre el generador principal y la conexión de la red;
 - un segundo interruptor entre el extremo del lado del generador del convertidor *back-to-back* y el generador secundario;
 - un tercer interruptor entre el extremo del convertidor del lado del generador del convertidor *back-to-back* y el generador principal;

y en la que el controlador y los interruptores se configuran de forma que activen/desactiven la potencia de dicho generador principal y el generador secundario al convertidor *back-to-back* y a una red; y

- reacondicionar el controlador para controlar el convertidor *back-to-back* por medio de controles del generador/lado de la red.

De esa manera, las turbinas eólicas existentes se pueden volver a configurar de forma que se permita que los aparatos existentes se utilicen adicionalmente añadiendo un generador secundario y se extienda de ese modo el intervalo operativo y la salida de potencia global de la turbina eólica.

En particular, las turbinas eólicas con una potencia nominal de 1.5 MW son adecuadas para dicha conversión, ya que se ha descubierto que proporcionan suficiente energía para justificar dicha acción de reacondicionamiento.

En particular, a las turbinas eólicas del tipo DFIG como generador principal se les puede añadir de manera ventajosa un generador de imanes permanentes como el generador secundario utilizando una configuración la expuesta o sus variantes.

En una realización particular, el controlador se reacondiciona además para controlar la rotación del rotor de la turbina eólica por medio de los controles del rotor.

Lo que proporciona de esa manera un método de control que regula la salida de potencia de la turbina eólica durante la transición entre los diferentes modos operativos. En un aspecto, los controles del rotor permiten que el

controlador reduzca la salida de potencia a cero y mantienen la velocidad del rotor en un cierto valor, después de lo cual los interruptores están en el modo solo con DFIG o en el modo solo con PM. Conectándose después a una red e incrementando la potencia hasta el nivel de potencia necesario o deseado.

5 En consecuencia, el objetivo de la invención se cumple mediante un método de operación de una turbina eólica tal como se expone, donde

- el generador principal está acoplado a un rotor de la turbina eólica y configurado de modo que genere una salida de potencia P_p cuando el rotor de la turbina eólica experimente una velocidad del viento entre una velocidad del viento principal mínima W_{p_MIN} y una velocidad del viento principal máxima W_{p_MAX} ; y
- 10 - el generador secundario está acoplado a un rotor de la turbina eólica y configurado de modo que genere una salida de potencia P_s cuando el rotor de la turbina eólica experimente una velocidad del viento entre una velocidad del viento secundaria mínima W_{s_MIN} y una velocidad del viento secundaria máxima W_{s_MAX} ; y en la que el generador principal y los generadores secundarios se configuran de modo que produzcan una salida de potencia total P ; donde el método de operación comprende los pasos de
- 15 - operar la turbina eólica en un modo de operación principal en el que la salida de potencia P proviene del generador principal cuando la velocidad del viento está por encima de una velocidad del viento de desacoplamiento $W_{desacoplamiento}$;
- operar la turbina eólica en un modo de operación secundario en el que la salida de potencia P proviene del generador secundario cuando la velocidad del viento está por encima de una
- 20 velocidad del viento de desacoplamiento $W_{desacoplamiento}$;

y donde la velocidad del viento de desacoplamiento $W_{desacoplamiento}$ está entre la velocidad del viento principal mínima W_{s_MIN} y la velocidad del viento secundaria máxima W_{s_MAX} .

25 De esa manera, la turbina eólica puede operar en un modo principal, donde la energía del rotor se transfiere al generador principal, o la turbina eólica puede operar en un modo secundario, donde la energía del rotor se transfiere a un generador secundario.

En un aspecto de la invención, el método de operación se lleva a cabo utilizando una turbina eólica de acuerdo con lo expuesto.

30 En una realización particular, el generador principal es un DFIG y, por tanto, el modo principal es un modo DFIG.

En una realización particular, el generador secundario es un generador PM y, por tanto, el modo principal es un modo PM.

35 De acuerdo con una realización del método de operación de una turbina eólica, donde la turbina eólica cambia de un modo de operación a otro, que comprende los pasos de

- detectar un paso de la velocidad del viento de desacoplamiento $W_{desacoplamiento}$,
- detener la rotación del rotor de la turbina eólica, de la turbina eólica
- 40 - reiniciar la rotación del rotor de la turbina eólica, de la turbina eólica, mediante
 - la entrada en el modo de operación principal si la velocidad del viento W es la velocidad del viento de desacoplamiento $W_{desacoplamiento}$ o está por encima de esta, o
 - la entrada en el modo de operación secundario si la velocidad del viento W está por debajo de la velocidad del viento de desacoplamiento $W_{desacoplamiento}$.

45 De esa manera, se minimizan las cargas y deformaciones globales sobre el sistema mientras se cambia de modo operativo. Otra ventaja es que reduce los tamaños de los interruptores eléctricos y mecánicos necesarios para conmutar entre modos.

50 De acuerdo con una realización del método de operación de una turbina eólica, la turbina eólica conmuta de un modo de operación a otro, que comprende los pasos de

- reducir la salida de potencia P a cero mientras se mantiene el rotor de la turbina eólica a una cierta velocidad de rotación
- cerrar los primeros interruptores y los terceros interruptores para conectar el generador principal a una red e incrementar la potencia hasta el nivel de potencia requerido
- 55 - operar en el modo de operación principal
- o
- cerrar los segundos interruptores para conectar el segundo generador a una red e incrementar la potencia hasta el nivel de potencia requerido
- 60 - operar en el modo de operación secundario.

De esa manera se obtiene un método robusto de conmutación que minimiza las fuerzas sobre la turbina eólica durante la transición de un modo a otro.

65 De acuerdo con una realización del método de operación de una turbina eólica, este conlleva inclinar palas que se pueden inclinar total o parcialmente.

Descripción de los dibujos

- La invención se describe únicamente a modo de ejemplo y haciendo referencia a los dibujos, donde:
- 5 La figura 1 muestra una turbina eólica;
- La figura 2 muestra como el eje está acoplado al generador principal y al generador secundario;
- La figura 3 muestra diseños esquemáticos A, B y C de configuraciones del generador principal y del generador secundario;
- La figura 4 muestra un esquema del controlador y del interruptor;
- 10 La figura 5 muestra una figura con las eficiencias de los trenes motrices de generadores DFIG, PMHS, PMMS y PMDD, así como también la distribución anual de vientos y la potencia de la turbina como una función de la velocidad del viento (% de la potencia teórica); y
- La figura 6 muestra una curva de potencia de la salida combinada del generador principal y del generador secundario.

15

Descripción detallada de la invención

N.º	Pieza
100	Turbina eólica
101	Torre
102	Cimentación
103	Góndola
104	Rotor de la turbina eólica
105	Pala
106	Buje
107	Viento
108	Velocidad del viento
200	Tren motriz
201	Eje
202	Caja de engranajes
204	Eje del generador principal
205	Generador principal
206	Acoplamiento
207	Eje del generador secundario
208	Generador secundario
300	Cables eléctricos
301	Convertidor <i>back-to-back</i>
302	Extremo del convertidor del lado del generador
303	Extremo del convertidor del lado de la red
304	Red
305	Conexión a la red
401	Primer interruptor
402	Segundo interruptor
403	Tercer interruptor
405	Controlador
406	Controles del lado del generador
407	Controles del lado de la red
408	Controles del rotor

N.º	Pieza
500	Distribución anual de vientos
501	Eficiencia del tren motriz DFIG
502	Eficiencia del tren motriz PMHS
503	Eficiencia del tren motriz PMMS
504	Eficiencia del tren motriz PMDD
505	Potencia de la turbina eólica
600	W
601	P
602	P_p
603	P_s
610	$W_{p_{MIN}}$
611	$W_{p_{MAX}}$
612	$W_{s_{MIN}}$
613	$W_{s_{MAX}}$
615	$W_{teórica}$
616	$P_{teórica}$
617	$W_{desconexión}$
618	$W_{desacoplamiento}$
619	$P_{desacoplamiento}$

La figura 1 muestra una turbina eólica 100 con una torre 101 que se eleva desde una cimentación 102 y termina en una góndola 103, con un rotor de la turbina eólica 104 que comprende, en esta realización, tres palas 105', 105'', 105''' montadas en un buje 106.

5 La góndola 103 se monta, con la rotación permitida, en la torre 101 configurada para que esté orientada al viento 108, de manera que el viento 107 hará rotar el rotor de la turbina 104 con una velocidad de rotación que depende de la velocidad del viento 108.

10 La figura 2 muestra una realización de un tren motriz 200 colocado en la góndola 104 de la turbina eólica 100. El tren motriz 200 conecta el buje 106, a través de un eje 201, a una caja de engranajes 202 que transforma la potencia al eje de un generador principal 204 que impulsa un generador principal 205. En esta realización, el eje del generador principal 204 transfiere la potencia a través de un acoplamiento mecánico 206, fabricado como una disposición del tipo de correa dentada, a un eje del generador secundario 207 que impulsa un generador secundario 208.

15 El generador principal 205 es un generador de tipo generador de inducción doblemente alimentado (DFIG). El generador secundario 208 es un generador de tipo con sistema de motor de imanes permanentes.

20 La figura 3 muestra tres realizaciones diferentes de configuraciones de generador principal y secundario. Las realizaciones en A, B y C se ejemplifican mediante diseños esquemáticos de las configuraciones del tren motriz 200 para un viento 107 que interactúa con el rotor de la turbina eólica 104 y transfiere potencia al eje 201 y desde ahí a un generador principal 205 y a un generador secundario 208.

25 En todas las realizaciones, el generador principal 205 y el generador secundario 208 están conectados a través de cables eléctricos 300, adecuados para conducir potencia a los niveles requeridos a un convertidor *back-to-back* 301, en una configuración donde los generadores 205, 208 se conectan al convertidor *back-to-back* 301 en un extremo del convertidor del lado del generador 302, y en la que el convertidor *back-to-back* 301 en su extremo del convertidor del lado de la red 303 se conecta a una red 304 en una conexión de la red 305. Una salida de electricidad del generador principal 205 está acoplada directamente al punto de conexión de la red 305 a través de los cables eléctricos 300 directos. Asimismo, una salida de potencia eléctrica del generador principal 205 está acoplada al convertidor *back-to-back* 301 a través de los cables eléctricos 300.

30

En la realización mostrada en la figura 3A, el eje del generador principal 204 del generador principal 205 interactúa con el eje 201 a través de una caja de engranajes 202 que transforma la potencia a un eje del generador principal 204.

Asimismo, el eje del generador principal 204 interactúa con un acoplamiento mecánico 206, que en esta realización es una disposición de correa dentada 206' que transfiere potencia del eje del generador principal 204 al eje del generador secundario 207, que impulsa el generador secundario 208. La salida de electricidad del generador secundario 208 está acoplada directamente a los cables eléctricos 300 entre la salida del generador principal 205 y el extremo del convertidor del lado del generador 302.

La figura 3B muestra otra realización en la que el eje del generador secundario 206 está acoplado o unido mecánicamente de manera directa al eje del generador principal 204 a través de una extensión del eje 206". La salida de electricidad del generador secundario 208 está acoplada directamente a los cables eléctricos 300 entre la salida del generador principal 205 y el extremo del convertidor del lado del generador 302.

La figura 3C muestra otra realización en la que el eje del generador secundario 207 interactúa con el eje 201 a través de un acoplamiento mecánico 206, que es una caja de engranajes secundaria 206"". La salida de electricidad del generador secundario 208 está acoplada directamente a los cables eléctricos 300 entre la salida del generador principal 205 y el extremo del convertidor del lado del generador 302.

En la realización mostrada A, B y C, el generador principal 205 es un generador de tipo generador de inducción doblemente alimentado (DFIG). El generador secundario 208 es un generador de tipo de imanes permanentes (PM), tal como uno PMMS (sistema de motor de imanes permanentes), uno PMHS (síncrono de histéresis con imanes permanentes) o uno PMDD (de accionamiento directo con imanes permanentes).

La figura 4 muestra una realización representativa de una configuración de control y conmutación aplicada a la realización de la figura 3A.

En esta realización hay una primera disposición de interrupción 401 en los cables eléctricos 300, entre el generador principal 205 y el punto de conexión de la red 305. El primer interruptor 401 se configura de manera que cierre y abra la salida de potencia eléctrica del generador principal 205 directamente al punto de conexión de la red 305.

Hay una disposición de interrupción secundaria 402 entre el generador secundario 208 y el extremo del convertidor del lado del generador 302 del convertidor *back-to-back* 301. El segundo interruptor 402 se configura de manera que cierre y abra la salida de potencia eléctrica del generador secundario 208 al extremo del convertidor del lado del generador 302 del convertidor *back-to-back* 301.

Hay una tercera disposición de interrupción secundaria 403 entre el generador principal 205 y el extremo del convertidor del lado del generador 302 del convertidor *back-to-back* 301. El tercer interruptor 402 se configura de manera que cierre y abra la salida de potencia eléctrica del generador secundario 208 al extremo del convertidor del lado del generador 302 del convertidor *back-to-back* 301. En una realización alternativa, el segundo interruptor 402 y el tercer interruptor 403 se configuran como un interruptor SPDT.

Se supone que los interruptores 401, 402, 403 están controlados mediante un controlador 405. El controlador 405 se puede configurar de manera que controle el extremo del convertidor del lado del generador 302 mediante los controles del lado del generador 406, con el fin de adaptar el convertidor *back-to-back* 301 a la potencia que fluye procedente de los generadores 205, 208 de acuerdo con las posiciones de los interruptores 401, 402, 403.

De manera similar, el controlador 405 se puede configurar de manera que controle el extremo del convertidor del lado de la red 303 mediante los controles del lado de la red 407.

El controlador 405 también controla elementos de la turbina eólica 100 y en particular la rotación o funcionamiento del rotor de la turbina eólica 104 por medio de los controles del rotor 408.

La figura 5 muestra a modo de ejemplo, la eficiencia del tren motriz 200 de una turbina eólica 100 estándar de 1.5 MW como una función de la velocidad del viento 108 normalizada con respecto a la potencia teórica de la turbina eólica 100.

Se indica la distribución anual de vientos 500 y se observa que tiene un máximo a aproximadamente un 39% de la potencia teórica, antes de que la distribución anual de vientos 500 disminuya lentamente.

La gráfica muestra la eficiencia del tren motriz del DFIG 501, que se observa que tiene un aumento escalonado desde un 0% hasta aproximadamente un 68% para una velocidad del viento respecto a la teórica 108 de aproximadamente un 35%, que está justo por debajo del máximo de la distribución anual de vientos 500, por lo que se captura la mayoría de la energía en el viento.

La gráfica muestra las eficiencias del tren motriz del generador secundario 208 de tipo de imanes permanentes: la eficiencia del tren motriz del PMHS 502, la eficiencia del tren motriz del PMMS 503 y la eficiencia del tren motriz del PMDD 504.

- 5 Las eficiencias del tren motriz de PM 502, 503, 504 muestran sustancialmente eficiencias a velocidades del viento 108 por debajo de la velocidad del viento de desconexión 108 del generador DFIG 205.

Por último, la gráfica muestra la curva de potencia de la potencia de la turbina eólica 505 para un tren motriz 200 que combina un generador principal 205 del tipo DFIG y un generador secundario 208 del tipo PM.

- 10 La figura 6 muestra un ejemplo de una curva de potencia de la salida combinada de un generador principal 205 y un generador secundario 206, según se expone.

- 15 La gráfica muestra la respuesta de la turbina eólica 100 para una velocidad del viento particular, W , 600, donde la turbina eólica 100 genera una salida de potencia P , 601. El generador principal 205 contribuye con una potencia P_p 602, y el generador secundario 208 contribuye con una potencia P_s 603.

- 20 El generador principal 205 tiene una salida de potencia positiva P_p entre una velocidad del viento mínima $W_{p\text{MIN}}$ 610 y una velocidad del viento máxima $W_{p\text{MAX}}$ 611. El generador secundario 208 tiene una salida de potencia positiva P_s entre una velocidad del viento mínima $W_{s\text{MIN}}$ 612 y una velocidad del viento máxima $W_{s\text{MAX}}$ 613.

- 25 La turbina eólica 100 se configura de manera que desde una velocidad del viento teórica $W_{\text{teórica}}$ 615 y por encima produzca esencialmente la potencia teórica $P_{\text{teórica}}$ 616. La turbina eólica 100 se configura además para desconectarse a una velocidad del viento $W_{\text{desconexión}}$ 617, velocidad del viento a la cual se detiene el rotor de la turbina eólica.

- 30 En particular, un experto en la técnica se inspirará y será capaz de elegir el generador de imanes permanentes PM, tal como un generador del tipo PMMS (sistema de motor de imanes permanentes) y hacer las configuraciones y controles adecuados.

- De manera similar, un experto en la técnica puede elegir unos generadores de tipo PMHS (síncrono de histéresis con imanes permanentes), de tipo PMDD (de accionamiento directo con imanes permanentes).

35

Reivindicaciones

1. Una turbina eólica (100) del tipo de velocidad variable, que comprende:

- una torre de la turbina eólica (101);
 - una góndola (103) dispuesta en dicha turbina eólica (100);
 - un buje del rotor de la turbina eólica (106) montado con la rotación permitida en dicha góndola (103), teniendo dicho buje del rotor de la turbina eólica (106) al menos una pala de la turbina eólica (105) montada en este;
 - un eje (201) acoplado a dicho buje del rotor de la turbina eólica (106) y, de manera opcional, a través de una caja de engranajes (202),
 - un generador principal (205), que a través de los cables eléctricos (300) tiene un estátor principal conectado eléctricamente a una conexión de la red (305) y un rotor principal conectado eléctricamente a
 - un convertidor *back-to-back* (301) en un extremo del convertidor del lado del generador (302), y donde el convertidor *back-to-back* (301) en un extremo del convertidor del lado de la red (303) está conectado eléctricamente a la conexión de la red (305);
 - un generador secundario (208) acoplado al eje (201, 204) a través de un acoplamiento mecánico (206), **caracterizado por que** el generador secundario (208) está conectado eléctricamente al rotor principal del generador principal (205) y al extremo del convertidor del lado del generador (302) del convertidor *back-to-back* (301); y donde dicha turbina eólica (100) comprende, además:
 - un controlador (405) con capacidades de control y medios de conexión a:
 - un primer interruptor (401) entre el generador principal (205) y la conexión de la red (305);
 - un segundo interruptor (402) entre el extremo del convertidor del lado del generador (302) del convertidor *back-to-back* (301) y el generador secundario (208);
 - un tercer interruptor (403) entre el extremo del convertidor del lado del generador (302) del convertidor *back-to-back* (301) y el generador principal (205);
- y en la que el controlador (405) y los interruptores (401, 402, 403) se configuran de forma que activen/desactiven la potencia de dicho generador principal (205) y dicho generador secundario (208) al convertidor *back-to-back* (301) y a una red (304).

2. Una turbina eólica (100) de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizada por que** el generador principal (205) es un generador DFIG (205').

3. Una turbina eólica (100) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizada por que** dicho generador secundario (208) es un generador de imanes permanentes, tal como uno PMHS (208'), PMMS (208''), PMDD (208''') o un generador de imanes permanentes (208) alternativo o equivalente.

4. Una turbina eólica (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada por que** dicho generador secundario (208) tiene una salida de potencia máxima (Ps) de entre 50 kW y 230 kW y/o el generador principal (205) tiene una salida de potencia máxima (Pp) de al menos 1 MW, preferentemente de aproximadamente 1.5 MW.

5. Una turbina eólica (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizada por que** dicho controlador (405) se configura de forma que controle y regule continuamente al menos uno de dichos interruptores (401, 402, 403) para un flujo de potencia entre desactivado (nula producción de potencia) y activado (máxima producción de potencia).

6. Una turbina eólica (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizada por que** dicho controlador (405) se configura además de forma que controle dicho extremo del convertidor del lado del generador (302) del convertidor *back-to-back* (301) por medio de los controles del lado del generador (406) y/o de forma que controle dicho extremo del convertidor del lado de la red (303) del convertidor *back-to-back* (301) por medio de los controles del lado de la red (407) y/o de forma que controle la rotación del rotor de la turbina eólica (104) mediante los controles del rotor (408).

7. Una turbina eólica (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizada por que** dicho generador secundario (208) comprende un eje del generador secundario (207) acoplado mecánicamente a un eje del generador principal (204); donde el acoplamiento mecánico (206) es preferentemente un acoplamiento de tipo de correa dentada (206').

8. Una turbina eólica (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizada por que** dicho generador secundario (208) comprende un eje del generador secundario (207) acoplado mecánicamente de manera directa a un eje del generador principal (204); donde el acoplamiento mecánico (206) es preferentemente un acoplamiento directo de uno con otro, tal como una extensión del eje (206'').

9. Una turbina eólica (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizada por que** dicho generador secundario (208) comprende un eje del generador secundario (207) acoplado mecánicamente mediante

un acoplamiento (206) al eje (201); donde el acoplamiento mecánico (206) es preferentemente un acoplamiento de tipo de caja de engranajes secundaria (206').

10. Un método de producción de una turbina eólica (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 - 9, que comprende los pasos de:

- proporcionar una turbina eólica (100) del tipo de velocidad variable, que comprende:
 - una torre de la turbina eólica (101);
 - una góndola (103) dispuesta en dicha turbina eólica (100);
 - un buje del rotor de la turbina eólica (106) montado con la rotación permitida en dicha góndola (103), teniendo dicho buje del rotor de la turbina eólica (106) al menos una pala de la turbina eólica (105) montada en este;
 - un eje (201) acoplado a dicho buje del rotor de la turbina eólica (106) y, de manera opcional, a través de una caja de engranajes (202),
 - un generador principal (205), que a través de los cables eléctricos (300) tiene un estátor principal conectado eléctricamente a una conexión de la red (305) y un rotor principal conectado eléctricamente a
 - un convertidor *back-to-back* (301) en un extremo del convertidor del lado del generador (302), y en el que el convertidor *back-to-back* (301) en un extremo del convertidor del lado de la red (303) está conectado a la conexión de la red (305);
 - proporcionar un generador secundario (208);
- caracterizado por**
- reacondicionar el generador secundario (208) en el eje (201) o en el eje del generador principal (204) mediante un acoplamiento mecánico (206) y conectar eléctricamente el generador secundario (208) al rotor principal del generador principal (116) y al convertidor *back-to-back* (301); y
 - reacondicionar
 - un primer interruptor (401) entre el generador principal (205) y la conexión de la red (305);
 - un segundo interruptor (402) entre el extremo del lado del generador (302) del convertidor *back-to-back* (301) y el generador secundario (208);
 - un tercer interruptor (403) entre el extremo del convertidor del lado del generador (302) del convertidor *back-to-back* (301) y el generador principal (205);
- y en la que el controlador (405) y los interruptores (401, 402, 403) se configuran de forma que activen/desactiven la potencia de dicho generador principal (205) y generadores secundarios (208) al convertidor *back-to-back* (301) y a una red (304);
- reacondicionar el controlador (405) para controlar el convertidor *back-to-back* (301) por medio de controles del generador/lado de la red (406, 407).

11. El método de producción de una turbina eólica (100) de acuerdo con la reivindicación 10, donde el controlador (405) se reacondiciona además de modo que controle la rotación del rotor de la turbina eólica (104) por medio de los controles del rotor (408).

12. Un método de operación de una turbina eólica (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 y donde

- el generador principal (205) está acoplado a un rotor de la turbina eólica (104) y configurado de modo que genere una salida de potencia P_p (602) cuando el rotor de la turbina eólica (104) experimente una velocidad del viento entre una velocidad del viento principal mínima ($W_{p\ MIN}$) y una velocidad del viento principal máxima ($W_{p\ MAX}$); y
- el generador secundario (208) está acoplado a un rotor de la turbina eólica (104) y configurado de modo que genere una salida de potencia (P_s) cuando el rotor de la turbina eólica (104) experimente una velocidad del viento entre una velocidad del viento secundaria mínima ($W_{s\ MIN}$) y una velocidad del viento secundaria máxima ($W_{s\ MAX}$);
- y en la que el generador principal (205) y el generador secundario (208) se configuran de modo que produzcan una salida de potencia total (P); donde el método de operación comprende los pasos de
 - operar la turbina eólica en un modo de operación principal en el que la salida de potencia (P) proviene del generador principal (205) cuando la velocidad del viento está por encima de una velocidad del viento de desacoplamiento ($W_{desacoplamiento}$);
 - operar la turbina eólica en un modo de operación secundario en el que la salida de potencia (P) proviene del generador secundario (208) cuando la velocidad del viento está por debajo de la velocidad del viento de desacoplamiento ($W_{desacoplamiento}$);
- y donde la velocidad del viento de desacoplamiento ($W_{desacoplamiento}$) está entre la velocidad del viento principal mínima ($W_{s\ MIN}$) y la velocidad del viento secundaria máxima ($W_{s\ MAX}$).

13. El método de operación de una turbina eólica (100) de acuerdo con la reivindicación 12, donde la turbina eólica (100) cambia de un modo de operación a otro que comprende los pasos de:

- detectar un paso de la velocidad del viento de desacoplamiento ($W_{desacoplamiento}$);
- detener la rotación del rotor de la turbina eólica (104), de la turbina eólica (100),
- reiniciar la rotación del rotor de la turbina eólica (104), de la turbina eólica (100) mediante

- la entrada en el modo de operación principal si la velocidad del viento (W) es la velocidad del viento de desacoplamiento ($W_{\text{desacoplamiento}}$) o está por encima de esta, o
- la entrada en el modo de operación secundario si la velocidad del viento (W) está por debajo de la velocidad del viento de desacoplamiento ($W_{\text{desacoplamiento}}$).

- 5 **14.** El método de operación de una turbina eólica (100) de acuerdo con la reivindicación 12, donde la turbina eólica (100) cambia de un modo de operación a otro que comprende los pasos de:
- reducir la salida de potencia (P) a cero mientras se mantiene el rotor de la turbina eólica (104) a una cierta velocidad de rotación
 - 10 - cerrar los primeros interruptores (401) y los terceros interruptores (403) para conectar el generador principal (205) a una red (305) e incrementar la potencia hasta el nivel de potencia requerido;
 - operar en el modo de operación principal;
 - o
 - 15 - cerrar los segundos interruptores (402) para conectar el segundo generador (208) a una red (305) e incrementar la potencia hasta el nivel de potencia requerido;
 - operar en el modo de operación secundario.

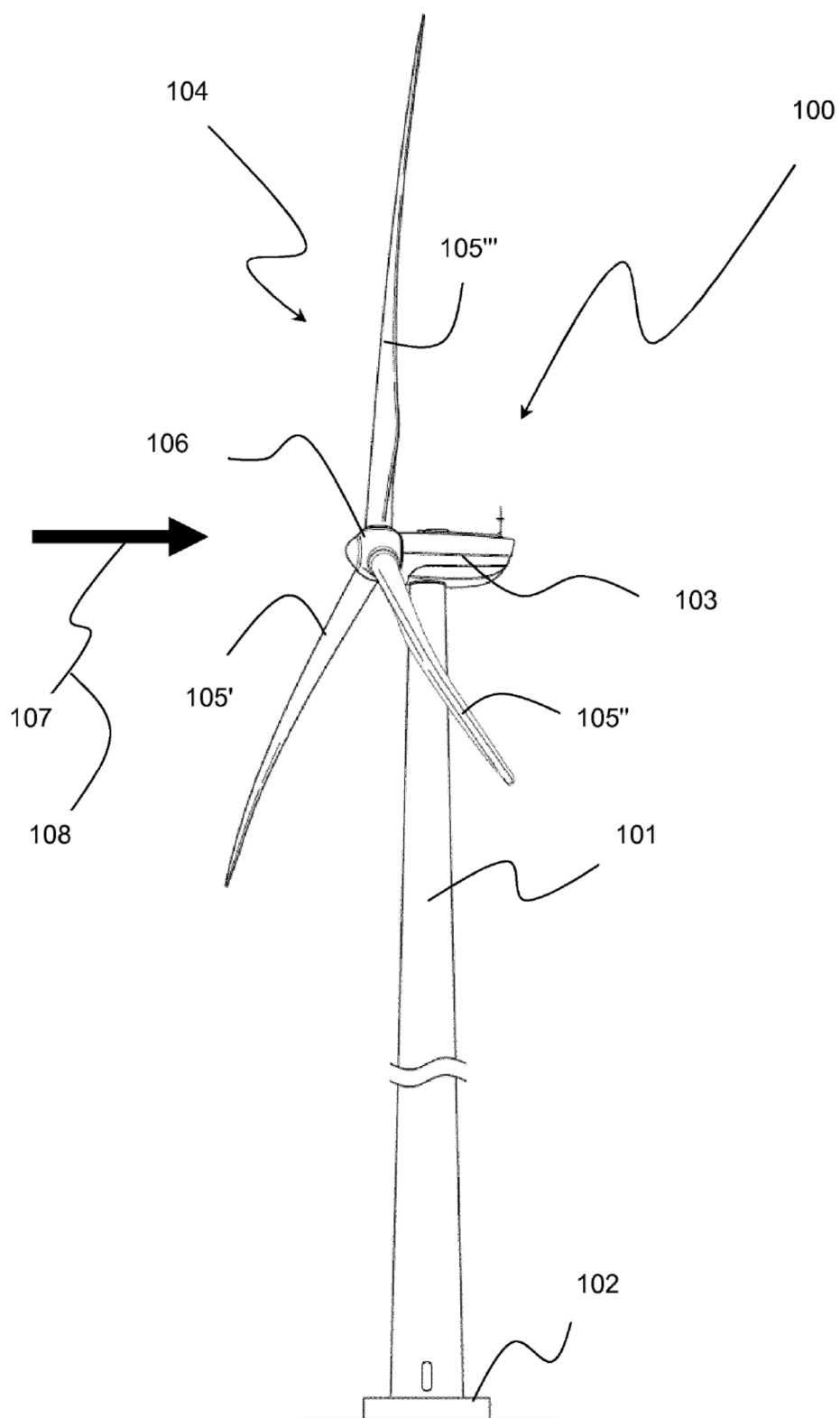


Fig. 1

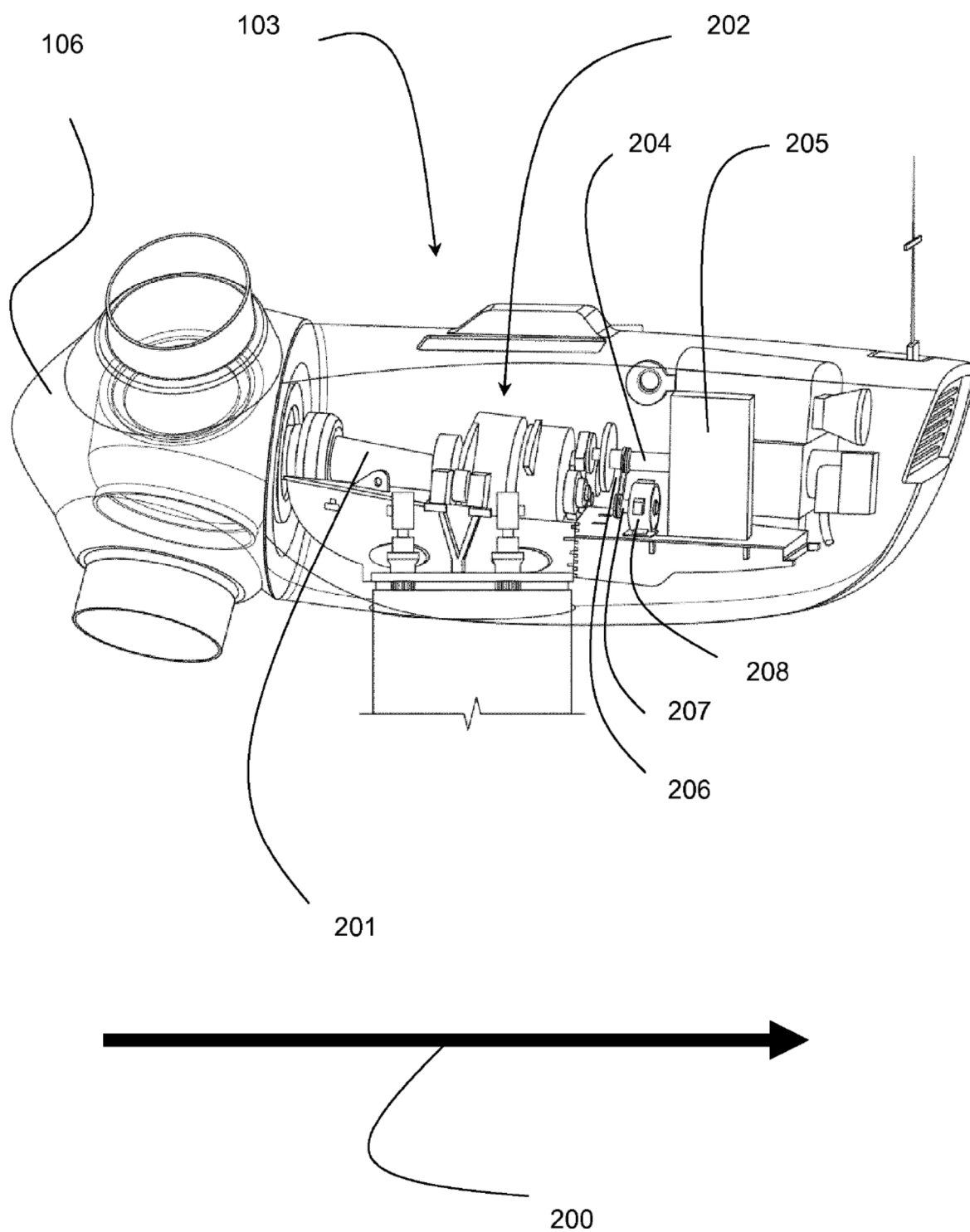


Fig. 2

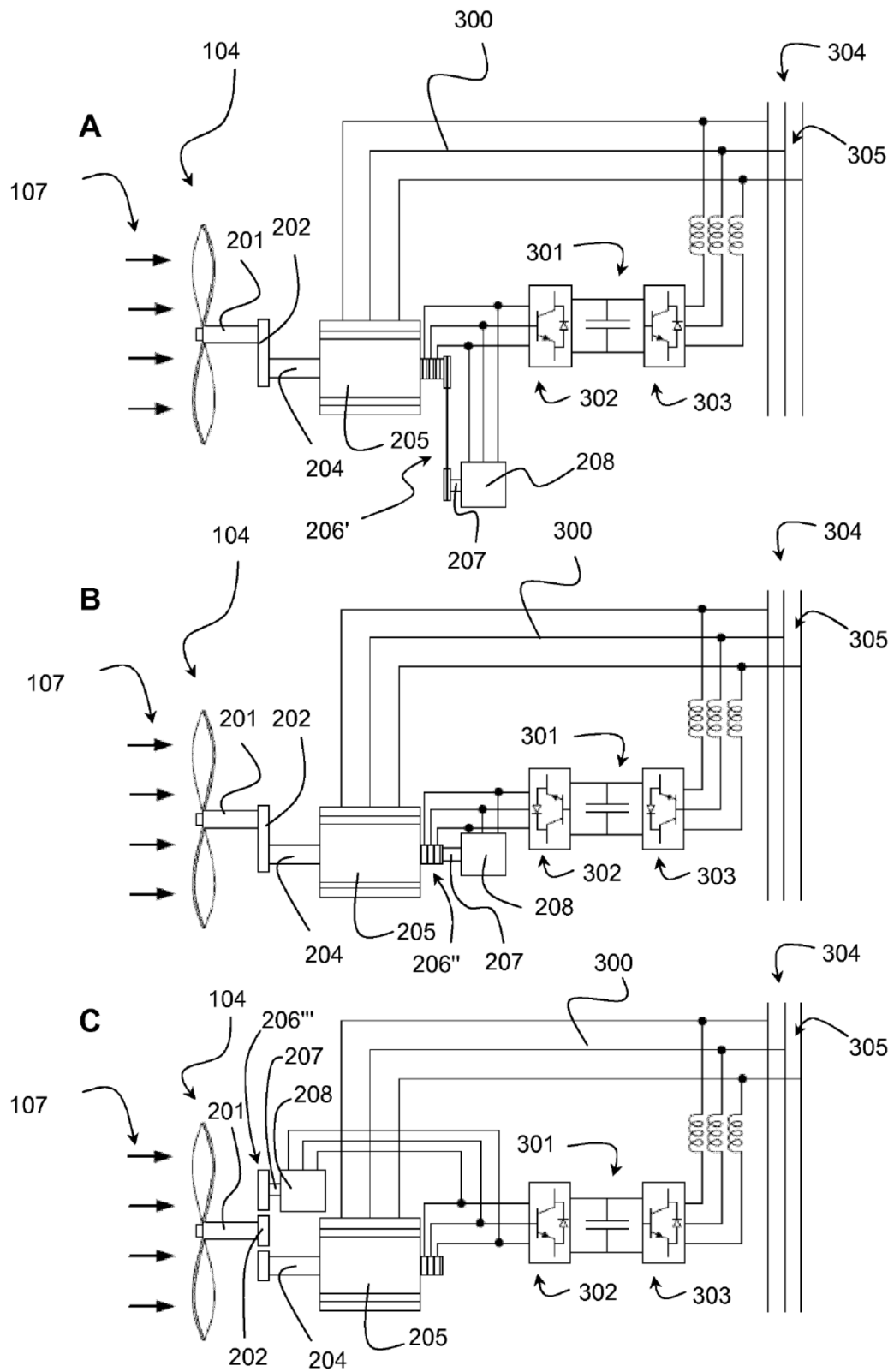


Fig. 3

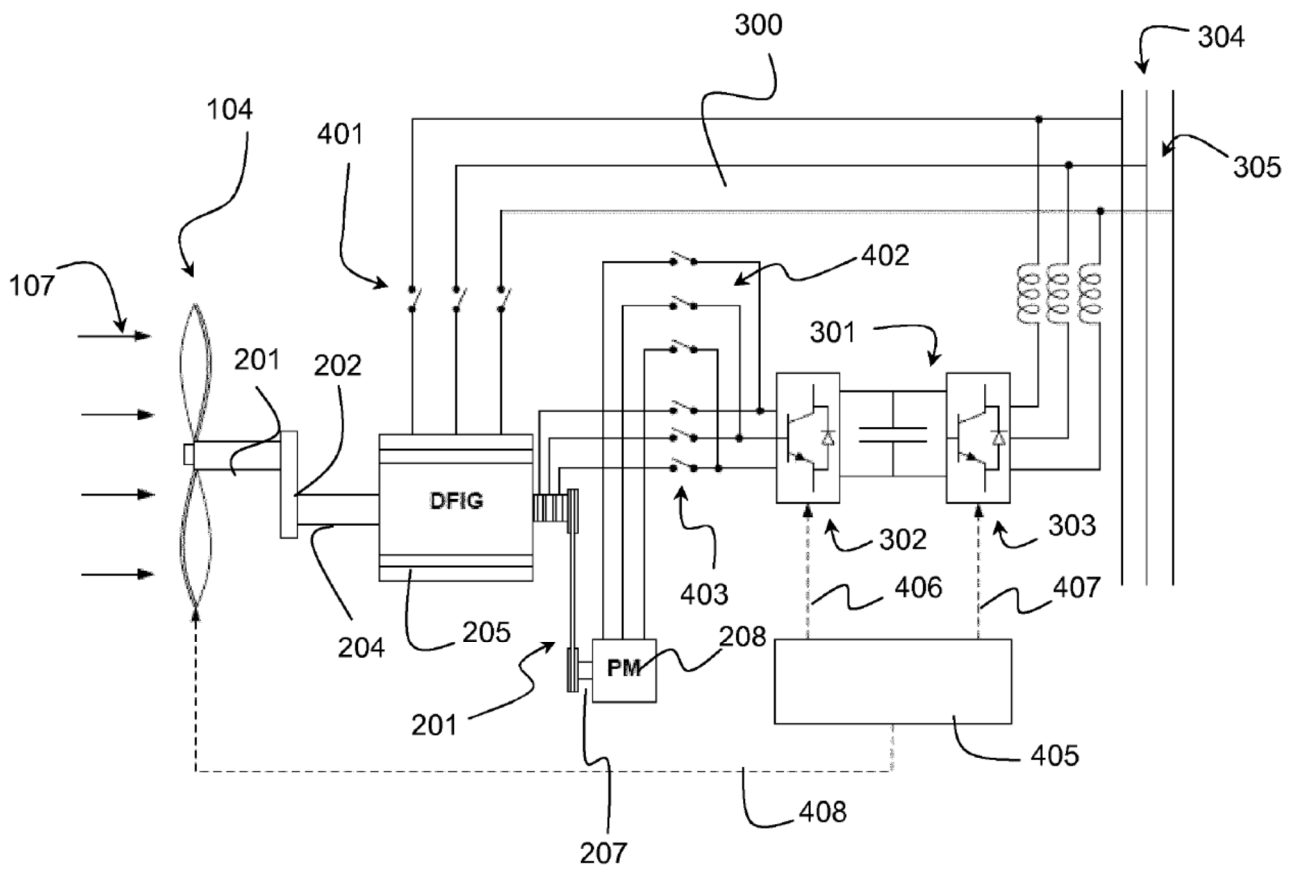


Fig. 4

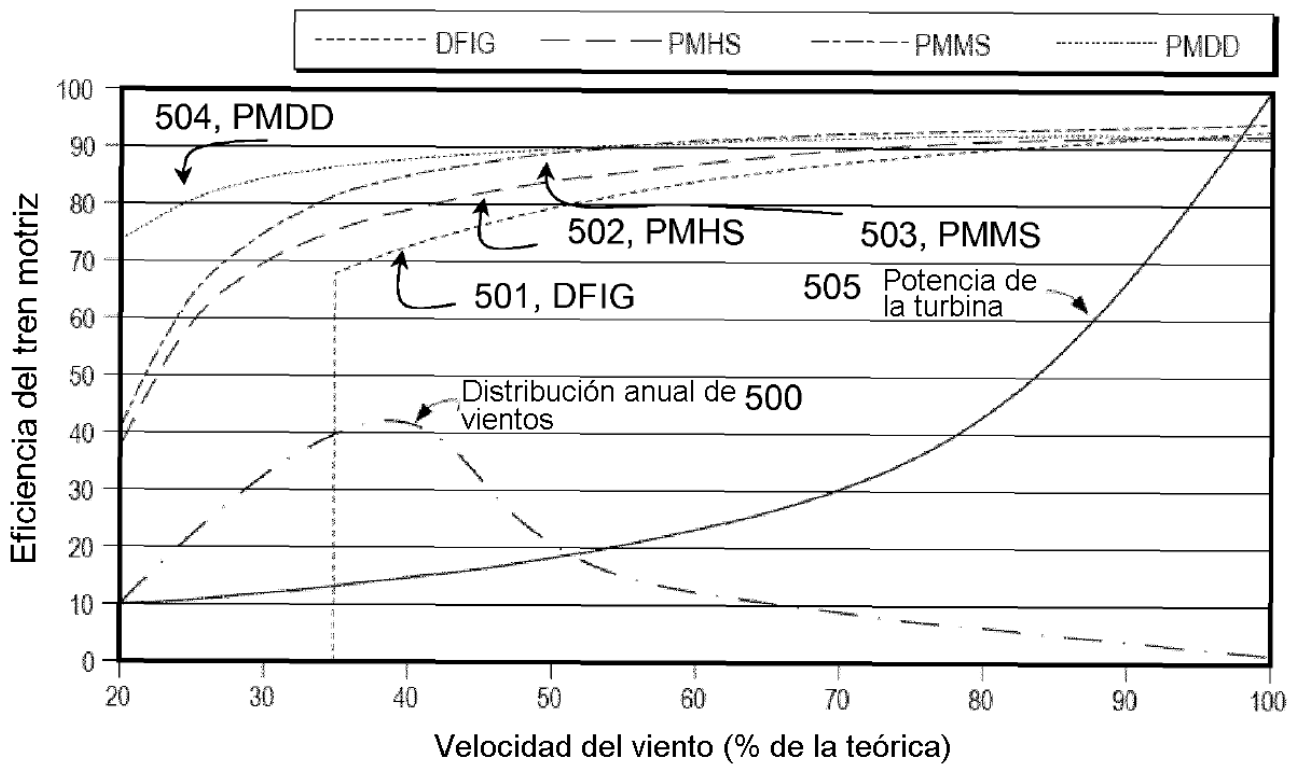


Fig. 5

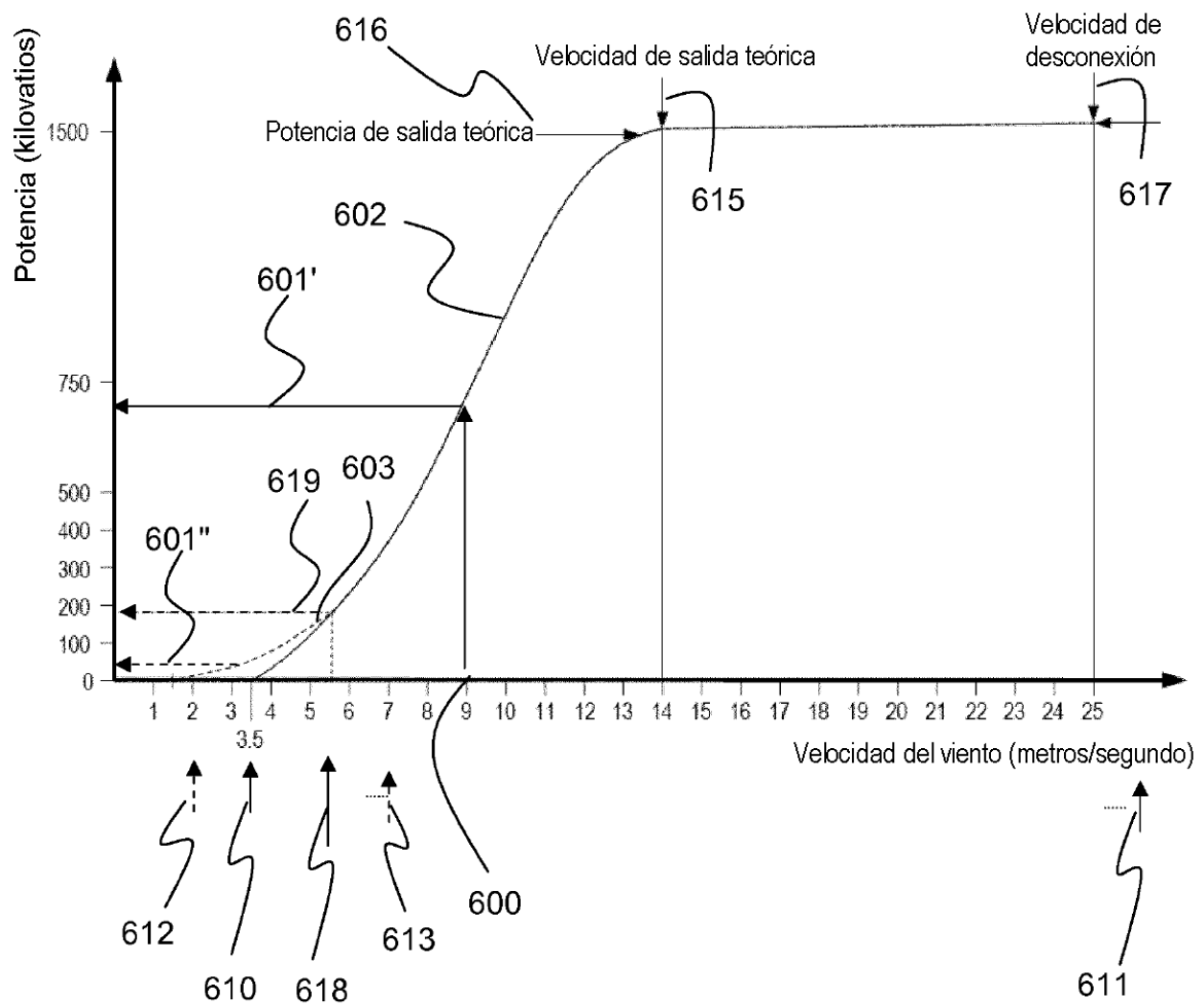


Fig. 6