

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 766 376**

51 Int. Cl.:

H02J 3/38 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 9/25 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.12.2011 PCT/EP2011/072424**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.10.2012 WO12139667**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.12.2011 E 11796987 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.10.2019 EP 2619870**

54 Título: **Arranque en negro de dispositivos de turbina eólica**

30 Prioridad:

15.04.2011 US 201113087505

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

12.06.2020

73 Titular/es:

**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY A/S
(100.0%)
Borupvej 16
7330 Brande, DK**

72 Inventor/es:

**EGEDAL, PER;
KUMAR, SATHEES y
NIELSEN, KAJ SKOV**

74 Agente/Representante:

LOZANO GANDIA, José

ES 2 766 376 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

Arranque en negro de dispositivos de turbina eólica

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere al campo de parques eólicos y dispositivos de turbinas eólicas.

10 Antecedentes de la técnica

10 El documento US 2008/0284172 A1 se refiere a una central de energía eólica y se proporciona un procedimiento de
puesta en marcha al menos de una parte de una central de energía eólica conectada a una red externa
sustancialmente sin ninguna energía suministrada desde la red externa para la puesta en marcha. La central de
energía eólica tiene una pluralidad de turbinas eólicas y al menos una fuente de energía conectada a al menos una
15 de las turbinas eólicas para arrancar la turbina eólica mientras está aislada de las turbinas eólicas restantes. La
turbina eólica arrancada puede suministrar a continuación energía para arrancar más turbinas eólicas. La energía se
puede suministrar a la red desde las turbinas eólicas arrancadas.

20 El documento EP 1 909 371 A2 divulga el arranque en negro de una turbina eólica. Es decir, la puesta en marcha y
el funcionamiento de todos los sistemas en la turbina eólica en ausencia de una tensión de red, o en presencia de
una tensión de red que no cumpla con las especificaciones de diseño para su funcionamiento normal. La capacidad
de arranque en negro es esencial para la recuperación de las principales perturbaciones de la red. Una turbina
eólica está conectada a un convertidor de energía, que incluye un convertidor lateral de turbina y un convertidor
25 lateral de red y uno o más elementos de almacenamiento de energía, tales como las baterías. También se pueden
usar otros dispositivos. Por ejemplo, un generador diésel que incluye rasgos característicos de arranque automático
se puede usar para proporcionar energía a la turbina cuando se le solicite. Los elementos de almacenamiento de
energía están acoplados entre el convertidor lateral de turbina y el convertidor lateral de red. Un sistema de control
está configurado para conmutar la turbina entre una configuración independiente y una configuración paralela a la
30 red.

30 El documento US 2008/0001408 A1 divulga diversos ejemplos de un subsistema eléctrico integrado y de un sistema
de energía eólica en configuraciones conectadas a la red y desconectadas de la red. En determinados ejemplos de
configuraciones desconectadas de la red, una batería está acoplada a un enlace de CC entre convertidores de
energía consecutivos y proporciona energía de arranque en negro (es decir, arranque en frío) y transitorios suaves,
35 así como energía para el control y equipos auxiliares. En determinados ejemplos de configuraciones desconectadas
de la red, otras fuentes de generación, tales como un motor de combustión (por ejemplo, un motor diésel), células de
combustible, baterías y/o combinaciones de las mismas, también se pueden acoplar al sistema integrado para
proporcionar una "red virtual". Se pueden agregar múltiples generadores de energía eólica en parques eólicos para
proporcionar una fuente de energía eólica más potente y robusta.

40 En vista de la situación descrita anteriormente, existe la necesidad de una técnica mejorada que permita
proporcionar buenas características de arranque en negro de un dispositivo de turbina eólica o de un parque eólico
mientras evita sustancialmente o al menos reduce uno o más de los problemas identificados anteriormente.

45 Sumario de la invención

Esta necesidad se puede satisfacer por la materia objeto de acuerdo con las reivindicaciones independientes. Las
reivindicaciones dependientes describen modos de realización ventajosos de la materia objeto divulgada en el
50 presente documento.

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, se proporciona un dispositivo de turbina eólica que comprende
una salida de energía del dispositivo de turbina eólica acoplable a una red eléctrica; un acoplador y una unidad de
alimentación adaptada para proporcionar una tensión predeterminada a la salida de energía por medio del acoplador
cuando el acoplador está en un estado acoplado en caso de un apagón de la red eléctrica, imitando la tensión
55 predeterminada a la red eléctrica en funcionamiento.

Este aspecto se basa en la idea de que se proporciona una buena capacidad de control del dispositivo de turbina
eólica si el dispositivo de turbina eólica se ejecuta con una red eléctrica simulada. De acuerdo con los modos de
realización de la materia objeto divulgada en el presente documento, se mejoran las características del arranque en
60 negro del dispositivo de turbina eólica y, en otros modos de realización, se mejoran las características del arranque
en negro del parque eólico que comprende el dispositivo de turbina eólica.

En un modo de realización, el acoplador tiene un estado de desacoplamiento en el cual la unidad de alimentación se
desconecta o, en otro modo de realización, se desacopla de la unidad de alimentación.

65 De acuerdo con un modo de realización, la red eléctrica es una red externa. De acuerdo con un modo de realización

adicional, el dispositivo de turbina eólica es un miembro de un parque eólico que tiene una pluralidad de dispositivos de turbina eólica, teniendo el parque eólico una salida de parque eólico acoplable a la red eléctrica. En dicho modo de realización, la red eléctrica es externa al parque eólico y también se denomina en este caso red externa.

5 De acuerdo con un modo de realización, imitar la red eléctrica permite funcionar y controlar el dispositivo de turbina eólica hasta que la red eléctrica vuelva a estar en funcionamiento. Por lo tanto, en dicho modo de realización permite controlar el dispositivo de turbina eólica y suministrar energía eléctrica generada a partir de energía eólica a dispositivos auxiliares del dispositivo de turbina eólica.

10 De acuerdo con un modo de realización, una unidad de control del dispositivo de turbina eólica (por ejemplo, un controlador de parque eólico) está configurada para apagar el dispositivo de turbina eólica y realizar un arranque normal del dispositivo de turbina eólica si la red eléctrica vuelve a funcionar. De acuerdo con un modo de realización adicional, la unidad de control del dispositivo de turbina eólica está configurada para sincronizar el dispositivo de turbina eólica que ya está funcionando (arrancado en negro) con la red eléctrica y después de esto conectar el dispositivo de turbina eólica a la red eléctrica si la red eléctrica se está ejecutando nuevamente.

15 De acuerdo con otro modo de realización, la unidad de alimentación incluye un generador diésel. Un generador diésel es muy adecuado para su integración en un dispositivo de turbina eólica que está de acuerdo con los modos de realización de la materia objeto divulgada en el presente documento. En particular, el generador diésel es muy adecuado para simular la red eléctrica en su estado de funcionamiento. De acuerdo con un modo de realización, un generador diésel es cualquier dispositivo que comprende una máquina accionada por diésel (por ejemplo, un motor diésel) y una máquina eléctrica que se acciona por la máquina accionada por diésel y genera, en respuesta a esto, energía eléctrica. Por ejemplo, en un modo de realización, el generador Diésel está incorporado por una máquina accionada por diésel que acciona un alternador (máquina síncrona). En otro modo de realización, el generador Diésel está incorporado por una máquina accionada por diésel que acciona una máquina asíncrona.

De acuerdo con un modo de realización, la salida de energía es una salida de energía de CA y la unidad de alimentación está configurada para proporcionar una energía de CA a la salida de energía.

30 De acuerdo con otro modo de realización adicional, el dispositivo de turbina eólica comprende además un transformador de turbina. En un modo de realización adicional, el acoplador está configurado para acoplar eléctricamente la unidad de alimentación al lado de turbina eólica del transformador de turbina, es decir, al lado del transformador de turbina que está acoplado o es acoplable al generador de turbina eólica.

35 En los modos de realización mencionados anteriormente y en general en el presente documento, "acoplado eléctricamente" no implica necesariamente una conexión directa de las entidades acopladas, ni implica necesariamente una conexión eléctrica (galvánica). Por el contrario, las entidades acopladas eléctricamente pueden estar separadas galvánicamente en un modo de realización. En dicho modo de realización, el acoplamiento eléctrico proporciona, no obstante, la transferencia de energía eléctrica entre las entidades acopladas eléctricamente. Además, en otros modos de realización, las entidades acopladas eléctricamente están conectadas eléctricamente o, en otros modos de realización adicionales, están conectadas galvánicamente. De acuerdo con otro modo de realización, el desacoplamiento eléctrico prohíbe la transferencia de energía eléctrica entre las entidades desacopladas eléctricamente. Además, cualquier elemento intermedio se puede localizar entre las entidades acopladas eléctricamente.

45 De acuerdo con un modo de realización adicional, el dispositivo de turbina eólica comprende además un dispositivo convertidor de CC/CA para recibir energía eléctrica generada por el generador de turbina eólica y que proporciona, en respuesta a esto, una energía CA convertida en una salida de convertidor; y un controlador de fase (por ejemplo, un bucle de fase bloqueada) para sincronizar el ángulo de fase de la energía de CA convertida con el ángulo de fase de la tensión predeterminada proporcionada por la unidad de alimentación. En un modo de realización, la salida de convertidor es la salida de energía. En un modo de realización adicional, el lado de turbina eólica del transformador de turbina está acoplado eléctricamente o se puede acoplar a la salida de convertidor del convertidor de CC/CA.

50 De acuerdo con un modo de realización, el dispositivo convertidor tiene una entrada de control para recibir desde un controlador de parque eólico al menos un punto de ajuste para el dispositivo convertidor.

De acuerdo con un segundo aspecto de la materia objeto divulgada en el presente documento, se proporciona un parque eólico, comprendiendo el parque eólico: un dispositivo de turbina eólica de acuerdo con el primer aspecto o con un modo de realización del mismo.

60 De acuerdo con un modo de realización del segundo aspecto, el parque eólico comprende un dispositivo de turbina eólica adicional que tiene una salida de energía acoplable a la red eléctrica; y un acoplador adicional para acoplar la salida de energía del dispositivo de turbina eólica a la salida de energía del dispositivo de turbina eólica adicional para arrancar el dispositivo de turbina eólica adicional en caso de un apagón de la red eléctrica.

65 Más adelante en el presente documento, el dispositivo de turbina eólica de acuerdo con el primer aspecto o con un

modo de realización del mismo también se denomina primer dispositivo de turbina eólica y el dispositivo de turbina eólica adicional se denomina segundo dispositivo de turbina eólica.

5 Por lo tanto, el segundo dispositivo de turbina eólica se puede arrancar con la energía proporcionada con el primer dispositivo de turbina eólica previamente arrancado y que ya está funcionando. En un modo de realización, el primer dispositivo de turbina eólica proporciona una tensión predeterminada a la salida de energía del segundo dispositivo de turbina eólica en el que la tensión predeterminada imita a la red eléctrica en funcionamiento.

10 De acuerdo con un modo de realización adicional, el parque eólico de acuerdo con el segundo aspecto comprende además una disposición de control de parque eólico configurada para proporcionar puntos de ajuste idénticos de al menos una variable relacionada con la energía de salida tanto para el dispositivo de turbina eólica como para el dispositivo de turbina eólica adicional. De acuerdo con un modo de realización, el dispositivo de turbina eólica adicional comprende una entrada de control para recibir desde un controlador de parque eólico al menos un punto de ajuste para el dispositivo convertidor del dispositivo de turbina eólica adicional. Una variable relacionada con la energía de salida es, por ejemplo, un ángulo de fase, una tensión, una energía, etc.

15 La disposición de control incluye en un modo de realización un controlador de parque eólico y al menos un acoplador para acoplar el controlador de parque eólico a cada dispositivo de turbina eólica y al dispositivo de turbina eólica adicional. Cada acoplador puede proporcionar una conexión dedicada entre el controlador de parque eólico y uno del dispositivo de turbina eólica y del dispositivo de turbina eólica adicional. De acuerdo con otros modos de realización, el acoplador puede proporcionar una conexión entre una salida del controlador de parque eólico y tanto el dispositivo de turbina eólica como el dispositivo de turbina eólica adicional. Por ejemplo, en un modo de realización, el acoplador incluye una estructura de acoplamiento ramificada que conecta eléctricamente la salida del controlador de parque eólico a al menos dos dispositivos de turbina eólica.

20 De acuerdo con un modo de realización adicional, el parque eólico de acuerdo con el segundo aspecto comprende además un punto de acoplamiento común, al cual son acoplables el dispositivo de turbina eólica y el dispositivo de turbina eólica adicional; un acoplador, teniendo el acoplador un primer estado en el cual el punto de acoplamiento común está conectado a la red eléctrica, teniendo el acoplador un segundo estado, en el cual el punto de acoplamiento común está desconectado de la red eléctrica; y una unidad de sincronización conectable al punto de acoplamiento común y a la red eléctrica para determinar la frecuencia de la energía proporcionada por el dispositivo de turbina eólica y la frecuencia de la red eléctrica y proporcionar, en respuesta a esto, una señal de sincronización al controlador de parque eólico para sincronizar la frecuencia de la energía proporcionada por el dispositivo de turbina eólica con la frecuencia de la red eléctrica. De acuerdo con un modo de realización adicional, el controlador de parque eólico está configurado para permitir que el acoplador se establezca en el primer estado si la frecuencia de la energía proporcionada por la turbina eólica está sincronizada con la frecuencia de la red eléctrica.

25 Se observa que, de acuerdo con un modo de realización de la materia objeto divulgada en el presente documento, el dispositivo de turbina eólica adicional es solo uno de una pluralidad de dispositivos de turbina eólica adicionales. Es decir, en un modo de realización, cada uno de la pluralidad de dispositivos de turbina eólica adicionales está configurado de acuerdo con uno o más modos de realización descritos con respecto "a" dispositivo de turbina eólica adicional descrito anteriormente.

30 De acuerdo con un tercer aspecto de la materia objeto divulgada en el presente documento, se proporciona un procedimiento de arranque en negro de un dispositivo de turbina eólica de acuerdo con el primer aspecto después de un apagón de una red eléctrica a la cual es acoplable el dispositivo de turbina eólica, comprendiendo el procedimiento proporcionar una tensión predeterminada al dispositivo de turbina eólica por medio de la unidad de alimentación por medio del acoplador, imitando la tensión predeterminada a la red eléctrica en funcionamiento.

35 Como se usa en el presente documento y como es común para un experto en la técnica, un arranque en negro es un arranque después de un apagón de la red eléctrica.

40 De acuerdo con un modo de realización, el procedimiento comprende proporcionar la tensión predeterminada con un generador diésel.

45 De acuerdo con un modo de realización adicional, el procedimiento comprende además ajustar a cero tanto la energía activa como la energía reactiva que se generarán por el dispositivo de turbina eólica cuando arranque para proporcionar la tensión predeterminada al dispositivo de turbina eólica.

50 De acuerdo con un cuarto aspecto de la materia objeto divulgada en el presente documento, se proporciona un procedimiento de arranque en negro de un parque eólico después de un apagón de una red eléctrica a la cual es acoplable el parque eólico, en el que el parque eólico tiene al menos dos dispositivos de turbina eólica de acuerdo con el primer aspecto, comprendiendo el procedimiento proporcionar un punto de ajuste idéntico de una variable relacionada con la energía de salida (por ejemplo, ángulo de fase) a cada uno de los al menos dos dispositivos de turbina eólica antes de conectar el respectivo dispositivo de turbina eólica a la red eléctrica y arrancar en negro el respectivo dispositivo de turbina eólica de acuerdo con el procedimiento establecido en el tercer aspecto.

De acuerdo con un modo de realización adicional, el procedimiento de acuerdo con el cuarto aspecto comprende además: arrancar en negro posteriormente los al menos dos dispositivos de turbina eólica; y conectar los al menos dos dispositivos de turbina eólica a la red eléctrica después de que se hayan arrancado en negro todos los al menos dos dispositivos de turbina eólica.

De acuerdo con un quinto aspecto de la materia objeto divulgada en el presente documento, se proporciona un programa informático para controlar un objeto físico, a saber, un dispositivo de turbina eólica de acuerdo con el primer aspecto, adaptándose el programa informático, cuando se ejecute mediante un procesador de datos, para controlar el procedimiento como se expone en el tercer aspecto o en un modo de realización del mismo.

De acuerdo con un sexto aspecto de la materia objeto divulgada en el presente documento, se proporciona un programa informático para controlar un objeto físico, a saber, un parque eólico, adaptándose el programa informático, cuando se ejecute mediante un procesador de datos, para controlar el procedimiento como se establece en el cuarto aspecto o un modo de realización del mismo.

En un modo de realización, el procesador de datos se incluye en un controlador de dispositivo de un dispositivo de turbina eólica. En otro modo de realización, el procesador de datos está incluido en un controlador de parque eólico que está configurado para controlar un parque eólico y en particular una pluralidad de dispositivos de turbina eólica incluidos en el parque eólico.

Como se usa en el presente documento, la referencia a un programa informático está prevista para ser equivalente a una referencia a un elemento de programa y/o a un medio legible por ordenador que contenga instrucciones para controlar un sistema informático para coordinar el rendimiento del procedimiento descrito anteriormente.

El programa informático se puede implementar como un código de instrucción legible por ordenador mediante el uso de cualquier lenguaje de programación adecuado, tal como, por ejemplo, JAVA, C++, y se puede almacenar en un medio legible por ordenador (disco extraíble, memoria volátil o no volátil, memoria/procesador integrado, etc.). El código de instrucciones es operable para programar un ordenador o cualquier otro dispositivo programable para llevar a cabo las funciones previstas. El programa informático puede estar disponible desde una red, tal como la *World Wide Web*, desde la cual se puede descargar.

La invención se puede realizar por medio de un programa informático, respectivamente software. Sin embargo, la invención también se puede realizar por medio de uno o más circuitos electrónicos específicos, respectivamente hardware. Además, la invención también se puede realizar de una forma híbrida, es decir, en una combinación de módulos de software y módulos de hardware.

En lo anterior se han descrito y en lo que sigue se describirán modos de realización ejemplares de la materia objeto divulgada en el presente documento con referencia a un dispositivo de turbina eólica, a un parque eólico, a un procedimiento para arrancar en negro un dispositivo de turbina eólica, a un procedimiento para arrancar en negro un parque eólico y a programas informáticos correspondientes. Debe señalarse que, por supuesto, también es posible cualquier combinación de rasgos característicos relacionados con diferentes aspectos de la materia objeto divulgada en el presente documento. En particular, algunos modos de realización se han descrito con referencia a las reivindicaciones del tipo de aparato, mientras que otros modos de realización se han descrito con referencia a las reivindicaciones del tipo de procedimiento. Sin embargo, un experto en la técnica obtendrá de la descripción anterior y de la siguiente, a menos que se notifique de otro modo, además de cualquier combinación de rasgos característicos que pertenezcan a un tipo de materia, también cualquier combinación entre rasgos característicos relacionados con diferentes materias, en particular entre los rasgos característicos de las reivindicaciones del tipo de aparato y los rasgos característicos de las reivindicaciones del tipo de procedimiento se consideran divulgadas con esta solicitud.

Los aspectos y modos de realización definidos anteriormente y otros aspectos y modos de realización de la presente invención son evidentes a partir de los ejemplos que se describirán a continuación en el presente documento y se explican con referencia a los dibujos, pero a los cuales no se limita la invención. El alcance de la invención se define por las reivindicaciones.

Breve descripción de los dibujos

La Fig. 1 muestra un parque eólico de acuerdo con los modos de realización de la materia objeto divulgada en el presente documento.

La Fig. 2 muestra el parque eólico de la Fig. 1 en un primer paso de un procedimiento de arranque en negro de acuerdo con la materia objeto divulgada en el presente documento.

La Fig. 3 muestra el parque eólico de la Fig. 1 en un segundo paso de un procedimiento de arranque en negro de acuerdo con la materia objeto divulgada en el presente documento.

La Fig. 4 muestra el parque eólico de la Fig. 1 en un tercer paso de un procedimiento de arranque en negro de acuerdo con la materia objeto divulgada en el presente documento.

5 La Fig. 5 muestra el parque eólico de la Fig. 1 en un cuarto paso de un procedimiento de arranque en negro de acuerdo con la materia objeto divulgada en el presente documento.

La Fig. 6 muestra el parque eólico de la Fig. 1 en un quinto paso final de un procedimiento de arranque en negro de acuerdo con la materia objeto divulgada en el presente documento.

10 La Fig. 7 muestra el parque eólico de la Fig. 1 en un quinto paso alternativo de un procedimiento de arranque en negro de acuerdo con la materia objeto divulgada en el presente documento.

Descripción detallada

15 La ilustración en los dibujos es esquemática. Cabe señalar que, en diferentes figuras, elementos similares o idénticos están provistos de los mismos signos de referencia o de signos de referencia, que son diferentes de los signos de referencia correspondientes solo dentro del primer dígito. Se omite una descripción repetida de dichos rasgos característicos para cada figura individual. Más bien, la descripción de un rasgo característico dado con respecto a una figura particular es válido para todas las demás figuras a menos que se indique de otro modo.
20 Además, no todos los elementos del parque eólico descrito se muestran en cada figura. Sin embargo, la ausencia de un elemento en una figura relacionada con un paso adicional de los procedimientos descritos no implica necesariamente la ausencia de este elemento. Por el contrario, en algunos dibujos se han omitido algunos elementos para no ocultar los rasgos característicos descritos.

25 Todas las grandes centrales eléctricas y parques eólicos a gran escala requieren algunas disposiciones de contingencia para volver a arrancar en el caso improbable de que se apaguen todas o partes de las unidades productoras de energía. El proceso de restaurar el sistema de energía para suministrar energía nuevamente se denomina Arranque en negro. Los aspectos y modos de realización de la materia objeto divulgada en el presente documento proponen un procedimiento para arrancar un parque eólico que ha perdido la red, por ejemplo, debido a
30 la pérdida de la línea de transmisión, fallo o cualquier otra condición que hace que el parque eólico no sea elegible para conectarse a la red. Los modos de realización de la materia objeto divulgada en el presente documento proponen una forma de arrancar las turbinas en modo aislado (no conectadas a la red externa) con la ayuda de un generador diésel que proporciona la energía necesaria a la unidad auxiliar para las turbinas.

35 La Fig. 1 muestra un parque eólico 100 de acuerdo con modos de realización de la materia divulgada en el presente documento. En particular, la Fig. 1 muestra en general un parque eólico aislado.

40 Sin tener aspectos y modos de realización de la materia objeto divulgada en el presente documento realizada en un parque eólico o en un dispositivo de turbina eólica, durante la desconexión de la red externa, el parque eólico no podrá funcionar ya que la energía producida no se puede enviar a la red externa y la tensión de alimentación de la red externa sería de cero voltios (0 V). Esta configuración se mejora de acuerdo con la materia objeto divulgada en el presente documento de tal manera que las turbinas en el radial están preparadas para iniciarse desde la desconexión total (arranque en negro).

45 El parque eólico 100 mostrado en la Fig. 1 comprende una pluralidad de dispositivos de turbina eólica 102 que son acoplables con una red eléctrica 104. El parque eólico 100 comprende un punto de acoplamiento común (PCC) 106 al cual son acoplables los dispositivos de turbina eólica. La red eléctrica se puede considerar como una fuente de energía 108, que es acoplable al punto de acoplamiento común 106 por medio de líneas eléctricas y de un disyuntor
50 110.

De acuerdo con un modo de realización, la fuente de alimentación 108 es una fuente de alimentación de CA. De acuerdo con otro modo de realización, la red eléctrica es una red. Por ejemplo, la fuente de energía 108 representa una fuente para la tensión de red indicada en 112 en la Fig. 1. La impedancia de las líneas eléctricas que conectan la red al punto de acoplamiento común 106 puede comprender varios componentes, tales como por ejemplo una
55 impedancia de red 114 y una impedancia de una línea de transmisión 116.

De acuerdo con un modo de realización, los dispositivos de turbina eólica 102 forman una red eléctrica local, tal como una red de parque eólico aislado 118. La red eléctrica local 118 comprende líneas eléctricas 120 por las cuales los dispositivos de turbina eólica 102 están acoplados a un lado de baja tensión de un transformador 122. De acuerdo con un modo de realización, para cada dispositivo de turbina eólica 102 se proporciona un transformador
60 122 separado. Un lado de alta tensión del transformador 122 está conectado por medio de las líneas eléctricas 124 a una barra colectora 126. De acuerdo con un modo de realización, un grupo de dispositivos de turbina eólica 102, por ejemplo cuatro dispositivos de turbina eólica 102 como se muestra en la Fig. 1, está conectado a la barra colectora 126 en paralelo. Los grupos de dispositivos de turbina eólica están acoplados a una barra colectora común 128 por medio de líneas eléctricas 130. Las impedancias de las líneas eléctricas 130 se indican en 132 en la Fig. 1.
65

De acuerdo con un modo de realización ilustrativo, los dispositivos de turbina eólica 102 proporcionan una tensión de 690 voltios (V), mientras que el lado de alta tensión de los transformadores 122 funciona a 35 kilovoltios (kV). La barra colectora común 128 está acoplada al punto de acoplamiento común 106 por medio de un transformador 134 que transforma la alta tensión proporcionada por los transformadores individuales 122 en el nivel de tensión de la red eléctrica 104, por ejemplo, en el nivel de tensión de la red externa en un modo de realización. De acuerdo con un modo de realización, la tensión de la red externa es de 275 kilovoltios (kV). En otros modos de realización, la tensión de la red externa es de 400 kV, solo para dar otro ejemplo.

De acuerdo con otro modo de realización, el parque eólico 100 comprende una disposición de control de parque eólico que comprende un controlador de parque eólico 136 que tiene al menos una entrada para recibir un parámetro de funcionamiento de la red eléctrica 104, tal como una señal de energía 138, indicativa de la energía proporcionada al punto de acoplamiento común 106 por la red eléctrica local 118, una señal de frecuencia 140 que indica la frecuencia de la misma, y una señal de tensión 142 que indica una tensión de la misma. En respuesta a los parámetros de entrada 138, 140 y 142, el controlador de parque eólico proporciona al menos un valor de referencia 144 para la red eléctrica local 118. Un valor de referencia 144 puede ser, de acuerdo con un modo de realización, una energía de referencia de cada turbina eólica de la red eléctrica local 118 y/o una tensión de referencia de cada turbina eólica de la red eléctrica local 118.

La Fig. 2 muestra un dispositivo de turbina eólica 102 de acuerdo con modos de realización de la materia objeto divulgada en el presente documento. En un modo de realización de acuerdo con la Fig. 2, y en contraste con la Fig. 1, el transformador 122 está incluido en el dispositivo de turbina eólica 102.

El dispositivo de turbina eólica 102 comprende un generador de turbina 146 que está acoplado al rotor de la turbina eólica y proporciona energía eléctrica en respuesta al accionamiento por la turbina eólica. La energía eléctrica generada por el generador de turbina 146 se alimenta a un convertidor de CA/CC 148 por medio de las líneas eléctricas 150. Un controlador de CC 152 mide la tensión de CC en la salida del controlador de CA/CC 148, indicado en 154, y genera en respuesta a esto un valor 156 establecido para la energía que se generará por el generador de turbina 146. La energía de salida de CC 158 del convertidor de CA/CC 148 se alimenta a un convertidor de CC/CA 160 que proporciona una energía de salida de CA 162 al lado de turbina 121 del transformador 122 que está asociado con el dispositivo de turbina eólica 102. El convertidor 160 tiene una entrada 161 para recibir los valores del punto de ajuste para los parámetros de funcionamiento del convertidor 160, tal como el ángulo de fase, la energía que se extraerá del generador de turbina 146, la tensión de salida, etc.

Hasta ahora, se ha descrito el funcionamiento normal del dispositivo de turbina eólica 102.

Además, se muestra en la Fig. 2 una unidad de alimentación 164 que está configurada y dispuesta para proporcionar una tensión predeterminada a una salida de energía 166 del dispositivo de turbina eólica por medio de un acoplador que se indica en 168 en la Fig. 2. De acuerdo con un modo de realización, el acoplador 168 incluye un conmutador 170 y líneas eléctricas 167 para proporcionar de ese modo la tensión predeterminada a la salida de energía 166 si el conmutador, indicado en 170 en la Fig. 2, está cerrado. De acuerdo con otros modos de realización, se proporcionan otros tipos de acopladores.

De acuerdo con un modo de realización, la salida de energía 166 es la salida de CA del convertidor de CC/CA 160. Sin embargo, debe entenderse que esto es meramente ejemplar y, de acuerdo con otros modos de realización, la salida de energía se puede proporcionar en cualquier otro punto de la trayectoria de energía en el dispositivo de turbina eólica 102. Sin embargo, debe entenderse que el nivel de la tensión predeterminada está adaptado a la salida de energía seleccionada, de modo que la tensión predeterminada imita a la red eléctrica en su estado de funcionamiento. De acuerdo con un modo de realización, la salida de energía 166 del dispositivo de turbina eólica está acoplada eléctricamente al lado de turbina 121 del transformador de dispositivo 122, por ejemplo, por una línea eléctrica 159.

De acuerdo con un modo de realización, se proporciona un controlador de fase 172, en el que el controlador de fase está configurado para sincronizar el ángulo de fase ϕ de la energía convertida que se emite por el convertidor de CC/CA 160 con el ángulo de fase ϕ_1 de la tensión predeterminada proporcionada por la unidad de alimentación 164. Además, de acuerdo con un modo de realización, la energía, es decir, la energía activa, así como la energía reactiva, se ajustan a cero durante el arranque en negro del dispositivo de turbina eólica 102. Dado que el convertidor 160 proporciona una determinada tensión que es, en un modo de realización, igual a la tensión predeterminada, una energía de cero significa que la corriente, es decir, la corriente activa y la corriente reactiva, se ajusta a cero. El ajuste a cero de la energía P se indica en 174 en la Fig. 2 y el ajuste a cero de la corriente se indica en 176 en la Fig. 2. De acuerdo con un modo de realización, se proporciona un controlador de dispositivo 171 para ajustar a cero la corriente activa y la corriente reactiva proporcionando las respectivas señales de control 174 y 176. De acuerdo con un modo de realización, el controlador de dispositivo 171 es un controlador local que está configurado para controlar un único dispositivo de turbina eólica 102. De acuerdo con otros modos de realización, el controlador de dispositivo 171 está configurado para controlar dos o más dispositivos de turbina eólica. De acuerdo con otros modos de realización más, la energía y la corriente están controladas por un controlador de parque eólico (no mostrado en la Fig. 2). En un modo de realización, el controlador de dispositivo 171 comprende un procesador

de datos para llevar a cabo un programa informático, que proporciona la función prevista del controlador de dispositivo como se describe en el presente documento.

De acuerdo con un modo de realización, la energía eléctrica proporcionada por la unidad de alimentación 164 se usa al menos parcialmente para cargar una fuente de alimentación interna de un sistema auxiliar 178. Para este fin, la unidad de alimentación 164 está conectada al sistema auxiliar 178 por medio de acopladores adecuados, tales como líneas eléctricas 180. El sistema auxiliar 178 contiene, por ejemplo, bombas, motores y la fuente de alimentación interna (no mostrada en la Fig. 2). En otros modos de realización, el sistema auxiliar 178 contiene otros elementos o elementos adicionales.

De acuerdo con un modo de realización, el parque eólico comprende un acoplador de almohadilla para acoplar una salida del dispositivo de turbina eólica 102, por ejemplo el lado de alta tensión 123 del transformador 122 a otro dispositivo de turbina eólica. Dicho acoplador de almohadilla puede incluir líneas eléctricas, indicadas en 184 en la Fig. 2, así como uno o más conmutadores para acoplar o desacoplar respectivamente dos o más dispositivos de turbina eólica 102, indicando estos conmutadores en 186 en la Fig. 2.

Además, el parque eólico puede incluir un acoplador para acoplar selectivamente una salida del dispositivo de turbina eólica 102, por ejemplo el lado de alta tensión 123 del transformador 122 a un transformador de parque de subestación 134. Dicho acoplador puede incluir líneas eléctricas, indicadas en 188 en la Fig. 2, y uno o más conmutadores, indicados en 190 en la Fig. 2.

De acuerdo con un modo de realización, el acoplador de almohadilla 184, 186 incluye la barra colectora 126. De acuerdo con otro modo de realización, el acoplador 188, 190 para acoplar selectivamente una salida del dispositivo de turbina eólica 102 al transformador de parque de subestación 134 incluye la barra colectora común 128 (véase también la Fig. 1).

De acuerdo con un modo de realización, la salida del transformador de parque de subestación 134 está acoplada o es acoplable al punto de acoplamiento común, por ejemplo, como se indica en 106 en la Fig. 1 por medio de una línea eléctrica 192.

De acuerdo con modos de realización ejemplares de la materia objeto divulgada en el presente documento, la idea del primer paso de arranque en negro mostrado en la Fig. 2 es tener un generador diésel local conectado en el lado de baja tensión del transformador de turbina. El propósito del generador diésel es proporcionar la energía necesaria a los controles y auxiliar que contiene las bombas, los motores y la fuente de alimentación interna. Además, el generador diésel imita la red externa al establecer una tensión (690 V) en el lado de baja tensión. La cantidad generada de la energía activa se ajusta a cero (0 megavatios (MW)) y la energía reactiva (Id de corriente del eje d) también se ajusta a cero (0 megavoltamperios (MVA)). El control orientado al vector se aplica de acuerdo con los modos de realización. El bucle de fase bloqueada en el convertidor calcula el ángulo φ del ángulo de tensión y se asegura de que el ángulo esté sincronizado con el ángulo de fase del generador diésel.

La Fig. 3 se refiere a una etapa posterior del procedimiento de arranque en negro de acuerdo con modos de realización de la materia objeto divulgada en el presente documento. Los elementos respectivos, que ya se han descrito con respecto a la Fig. 2, están provistos de los mismos signos de referencia y la descripción de los mismos no se repite aquí. Además, los elementos que se representan en la Fig. 2 y que ya no se muestran en la Fig. 3 no están necesariamente ausentes, pero no son necesarios para la explicación del paso adicional mostrado en la Fig. 3, del procedimiento de arranque en negro.

En el paso adicional mostrado en la Fig. 3, el acoplador 168, 170 está en un segundo estado, en el que la unidad de alimentación 164 se desacopla de la salida de energía 166. En esta etapa, la energía de salida 166 no está acoplada a otro dispositivo de turbina eólica ni a la red eléctrica, como lo indican los conmutadores abiertos 186 y 190. De acuerdo con un modo de realización, el sistema auxiliar 178 proporciona energía para el consumo de energía interna, por ejemplo para el controlador del dispositivo de turbina eólica 102. En un modo de realización mostrado en la Fig. 3, el sistema auxiliar 178 está acoplado eléctricamente a la salida de energía 166 por líneas eléctricas 165 para usar la tensión de salida de convertidor para alimentar el sistema auxiliar 178 cuando se desconecte el generador diésel. Además, dado que la salida de energía 166 del dispositivo de turbina eólica 102 se desacopla de la unidad de alimentación 164, la fase φ_1 de la unidad de alimentación 164 ya no se usa para proporcionar un punto de ajuste del ángulo de fase al convertidor 160. Por el contrario, de acuerdo con un modo de realización de la materia objeto divulgada en el presente documento, el punto de ajuste para el ángulo de fase φ se ajusta mediante una disposición de control de parque eólico que, de acuerdo con un modo de realización incluye un controlador de parque eólico 194 y al menos una línea eléctrica 196. En un modo de realización, el controlador de parque eólico 194 comprende un procesador de datos para llevar a cabo un programa informático, que proporciona la función prevista del controlador de parque eólico 194 como se divulga en el presente documento. En un modo de realización, las funciones del controlador de parque eólico 136 como se describe con respecto a la Fig. 1, es decir, para controlar el funcionamiento normal del parque eólico y la función del controlador de parque eólico 194 como se describe con respecto a la Fig. 3, es decir, para controlar el arranque en negro, se proporcionan por una sola entidad. En otros modos de realización, los controladores de parque eólico 136, 194 son entidades individuales que,

en un modo de realización, se acoplan para la sincronización del funcionamiento de ambos controladores.

De acuerdo con un modo de realización adicional, el convertidor tiene una entrada adicional para recibir un punto de ajuste de tensión para ajustar una tensión que se generará en la salida 166 del convertidor por el convertidor de CC/CA 160. La entrada para recibir el punto de ajuste V_q de la tensión de salida del convertidor 160 está acoplada con el controlador de parque eólico 194 por medio de al menos una línea eléctrica 198 en un modo de realización. De acuerdo con un modo de realización adicional, el punto de ajuste actual I_d todavía se recibe del controlador de dispositivo 171.

De acuerdo con un modo de realización, el controlador de parque eólico 194 tiene una entrada para recibir parámetros eléctricos de la red eléctrica 104, por ejemplo, de parámetros eléctricos en el punto de acoplamiento común 106. Para recibir los respectivos valores de parámetros reales de la red eléctrica 104, se proporciona un respectivo acoplador 200 para acoplar eléctricamente el controlador de parque eólico 194 a la red eléctrica 104.

De acuerdo con modos de realización ejemplares de la materia objeto divulgada en el presente documento, en el paso mostrado en la Fig. 3, la referencia de convertidor ϕ_1 para el ángulo de fase se reemplaza con una referencia ϕ del controlador de parque eólico 194 (piloto de parque de alto rendimiento, HPPP). Esta referencia se inicializará en base a la referencia de la primera turbina para garantizar una transmisión sin golpes. La referencia para la inicialización se puede medir o recopilar por medio de la red desde la primera turbina. El convertidor lateral de red se controla ahora como una fuente de tensión, con la referencia dada por el HPPP. En el modo de realización ejemplar, la salida de tensión es de 690 V (VN). El generador Diésel se desconecta justo después de que el punto de ajuste de tensión VHPPP del controlador del parque eólico 194 se haya recibido en el convertidor. El HPPP especifica el punto de ajuste de tensión (o referencias) enviado al convertidor 160, es decir, un valor entre 0-100 % donde 100 % es tensión nominal. El controlador de parque eólico 194 se suministra desde una batería local o alguna otra unidad UPS en un modo de realización.

La Fig. 4 muestra otro paso posterior de un procedimiento de arranque en negro de acuerdo con modos de realización de la materia objeto divulgada en el presente documento.

Como se muestra en la Fig. 4, el parque eólico 100 comprende dos o más dispositivos de turbina eólica, dos de los cuales 102, 402 se muestran en la Fig. 4.

En el paso mostrado en la Fig. 4, la disposición de control de parque eólico 194, 196, 198 está configurada para proporcionar conjuntos idénticos de una variable relacionada con la energía de salida, por ejemplo, el ángulo de fase ϕ o el punto de ajuste de tensión V_q a ambos dispositivos de turbina eólica 102. De acuerdo con un modo de realización mostrado en la Fig. 4, el controlador de parque eólico 194 tiene una única salida para cada variable relacionada con la energía de salida que está conectada a cada entrada de control 161 del dispositivo de turbina eólica, estando la entrada de control 161 configurada para recibir desde el controlador de parque eólico 194 un punto de ajuste de la variable relacionada con la respectiva energía de salida. El punto de ajuste actual I_d todavía se recibe del controlador de dispositivo (no mostrado en la Fig. 4). En un modo de realización, la entrada de control 161 del dispositivo de turbina eólica es la entrada de control del convertidor 160.

En el paso de arranque en negro mostrado en la Fig. 4, una primera turbina 102 se inicializa y produce energía eléctrica. Una vez que se inicializa el primer dispositivo de turbina eólica 102, se pueden configurar dispositivos de turbina eólica adicionales tales como el dispositivo de turbina eólica 402 para funcionar. Para este fin, el acoplador 184, 186, 188 se coloca en su etapa de acoplamiento, acoplando de este modo los lados de alta tensión 123 de los transformadores 122 por medio de la barra colectora 126 eléctricamente juntos. Eso significa que la energía eléctrica generada por el primer dispositivo de turbina eólica 102 se proporciona a una salida de energía del segundo dispositivo de turbina eólica 402, para imitar al segundo dispositivo de turbina eólica 402 la red eléctrica 104 en funcionamiento.

De acuerdo con un modo de realización, el acoplador 184, 186, 188 está configurado para acoplar las salidas de energía correspondientes de los dispositivos de turbina eólica individuales 102, 402, por ejemplo, los lados de alta tensión de los transformadores 122, como se especifica anteriormente. En lugar de usar la referencia interna para el ángulo de fase ϕ por medio del bucle de bloqueo de fase 172 como se muestra en la Fig. 2, en el paso de arranque en negro mostrado en la Fig. 4, todos los dispositivos de turbina eólica estarán usando el mismo ángulo de fase de referencia de control del parque eólico, asegurando una tensión estable. En otras palabras, todos los dispositivos de turbina eólica están funcionando sincrónicamente y emulan un solo generador de tensión. La carga actual está determinada por el consumo de las turbinas que están conectadas. Como se especifica con respecto al primer dispositivo de turbina eólica 102 y al segundo dispositivo de turbina eólica 402, los dispositivos de turbina eólica de un parque eólico están conectados uno por uno, en pequeños grupos o alimentador por alimentador (por medio de interruptores 190), de acuerdo con los respectivos modos de realización. En esta etapa del procedimiento de arranque en negro, el dispositivo de energía eólica podrá rastrear los cambios de dirección del viento, hacer funcionar los calentadores, los enfriadores y los deshumidificadores críticos. Además, los dispositivos de turbina eólica en funcionamiento proporcionan datos de la velocidad del viento y de la dirección de la mordaza a un servidor central. Los dispositivos de turbina eólica que ya están funcionando proporcionan energía crítica y recargan los

sistemas de baterías de estaciones en el parque eólico, por ejemplo en una estación de transformadores en alta mar. Este estado, donde se proporciona energía a las unidades críticas del dispositivo de turbina eólica y al parque eólico (tal como una unidad de control, etc.) y donde se recargan los sistemas de batería, tal vez el estado final y, de acuerdo con un modo de realización, se puede mantener hasta que se restablezca la red eléctrica. Esto permite proteger las turbinas eólicas y mantiene un determinado nivel de control sobre el parque eólico durante un apagón prolongado de la red eléctrica.

A partir de este estado, hay más opciones disponibles. De acuerdo con un modo de realización, el parque eólico y los dispositivos de turbina eólica del mismo se detienen cuando la red está disponible y se realiza un encendido normal.

De acuerdo con otro modo de realización, después de un arranque en negro exitoso del parque eólico, el parque eólico se puede sincronizar con la red eléctrica.

Al hacer funcionar las turbinas en una referencia de tensión de controlador de parque común hasta que se sincronizan con la red eléctrica, no hay necesidad de una función de control de frecuencia. El consumo de los dispositivos de turbina individuales que se conectan al sistema durante el arranque en negro se extrae de la fuente de tensión "rígida" para que la regulación de energía esté bajo control. Una fuente de tensión rígida es una fuente que es muy fuerte en el sentido de que la salida de tensión de la fuente rígida es constante independientemente de la cantidad de corriente, energía y energía reactiva que se extraiga de ella (dentro de determinados límites). Es decir, en un modo de realización, la tensión de salida de la fuente de tensión rígida es constante.

Por lo tanto, de acuerdo con modos de realización ejemplares de la materia objeto divulgada en el presente documento, una vez que se inicializa la turbina 1, se pueden configurar turbinas adicionales para funcionar. En lugar de usar la referencia interna ϕ por medio del PLL, todas las turbinas estarán usando la referencia de controlador de parque ϕ , asegurando V_q una tensión estable. Esto significa que todas las turbinas están funcionando sincrónicamente y emulan un solo generador de tensión. La carga actual está determinada por el consumo de las turbinas que están conectadas. Las turbinas están conectadas una por una, en pequeños grupos o alimentador por alimentador. En esta etapa, la central de energía eólica podrá rastrear los cambios de dirección del viento, hacer funcionar los calentadores, los enfriadores y los deshumidificadores críticos, proporcionar datos de la velocidad del viento y de la dirección de la mordaza al servidor central, proporcionar energía crítica y recargar los sistemas de baterías de la estación, por ejemplo, en estación transformadora en alta mar. Este estado se puede seleccionar como el estado final hasta que se restablezca la red para proteger las turbinas eólicas y mantener cierto nivel de control sobre la central durante una interrupción prolongada. Detener la central cuando la red está disponible y realizar un encendido normal es una opción. Al hacer funcionar las turbinas en una referencia de tensión de controlador de parque común VHPPP hasta que estén sincronizadas con la red, no hay necesidad de una función de control de frecuencia en un modo de realización. El consumo de las turbinas individuales que se conectan al sistema durante el arranque en negro se extrae de la fuente de tensión "rígida" para que la regulación de energía esté bajo control.

La Fig. 5 muestra un paso adicional después de que el parque eólico 100 se haya arrancado en negro. Para sincronizar el parque eólico con la red eléctrica, el controlador de parque eólico 194 se sincroniza con los valores medidos en la red eléctrica en el punto de acoplamiento común 106 tanto para la fase ϕ como para la tensión V_q . Cuando las fases de la red eléctrica y del parque eólico son sincrónicas y las tensiones de la red eléctrica y del parque eólico son idénticas, entonces el disyuntor de subestación 110 se puede cerrar para conectar el parque eólico a la red eléctrica. Este sería un generador de tensión muy rígido conectado a la red eléctrica y puede dar como resultado corrientes muy grandes si los dispositivos de la turbina eólica no se conmutan al control de corriente de inmediato. Por lo tanto, de acuerdo con un modo de realización, después de conectar eléctricamente el parque eólico a la red eléctrica, un controlador de dispositivo (no mostrado en la Fig. 5) que controla el funcionamiento del dispositivo de turbina eólica 102 se establece en un modo de control de corriente para controlar la corriente proporcionada por el dispositivo de turbina eólica.

En la Fig. 5 se muestra el parque eólico 100 de acuerdo con modos de realización de la materia objeto divulgada en el presente documento. En la Fig. 5, se muestran tres dispositivos de turbina eólica 102, 402 y 502. De este modo, los dispositivos de turbina eólica 402 y 502 están configurados de manera idéntica, mientras que el primer dispositivo de turbina eólica 102 comprende el generador diésel como se describe con respecto a las Figs. 2 y 3. De acuerdo con un modo de realización mostrado en la Fig. 5, el parque eólico 100 comprende una unidad de sincronización 191 que está configurada para recibir valores de entrada que están relacionados con variables relativas la energía de salida, tales como la fase y la tensión. De acuerdo con un modo de realización, la unidad de sincronización comprende una entrada para recibir valores para las variables relacionadas con la energía de salida del parque eólico y otra entrada para recibir los valores correspondientes de la red eléctrica. En respuesta a los valores de entrada, la unidad de sincronización 191 proporciona una señal de sincronización al controlador de parque eólico 194 que, en respuesta a esto, proporciona los respectivos puntos de ajuste para las variables liberadas de energía de salida a los dispositivos de turbina eólica individuales 102, 402, 502. De acuerdo con un modo de realización, las respectivas entradas 193 y 195 de la unidad de sincronización 191 están acopladas eléctricamente a los respectivos lados del disyuntor 110, por ejemplo, mediante líneas eléctricas 201. De acuerdo

con un modo de realización, el disyuntor 110 está controlado por el controlador de parque eólico 194, como se indica en 197 en la Fig. 5. La señal de sincronización proporcionada por la unidad de sincronización 191 se indica en 199 en la Fig. 5.

5 De acuerdo con modos de realización ejemplares de la materia objeto divulgada en el presente documento, la referencia del controlador de parque eólico ahora se sincronizará con el valor medido en el punto de acoplamiento común PCC. Esto debe coincidir tanto para la fase ϕ como para la tensión. Cuando las fases son sincrónicas y las tensiones son idénticas, el disyuntor de subestación 110 se puede cerrar a continuación y la central de energía eólica 100 se puede conectar a la red. Este sería un generador de tensión muy rígido conectado a la red, y puede dar como resultado corrientes muy grandes si las turbinas no se cambian al control de corriente de inmediato, lo que se hace de hecho de acuerdo con un modo de realización.

15 La Fig. 6 muestra el parque eólico 100 en una etapa final, es decir, el funcionamiento normal, después del arranque en negro. En esta etapa, el control del ángulo de fase ϕ se mueve desde el controlador del parque eólico a la referencia local registrada por el bucle de bloqueo de fase 172 que proporciona una señal de control 173 para el ángulo de fase ϕ al convertidor de CC/CA 160. El controlador de parque eólico 194 suministra valores de referencia 179, 169 para tensión V_{ref} y energía P_{ref} a los dispositivos de turbina eólica individuales 102 y 402.

20 En particular, de acuerdo con un modo de realización, el valor de referencia para la energía 169 se proporciona a una entrada de control 161 del convertidor CC/CA 160 y el valor de referencia para la tensión se proporciona a una entrada de control de un controlador de tensión 175. El controlador de tensión 175 también recibe una tensión medida en la salida del convertidor de CC/CA 160, indicándose la tensión medida en 177 en la Fig. 6. El controlador de tensión 175 recibe el valor de referencia para la tensión 179 y la tensión medida 177 y proporciona en respuesta un punto de ajuste de corriente 181 al convertidor de CC/CA 160.

25 De acuerdo con modos de realización ejemplares de la materia objeto divulgada en el presente documento, se realiza una transición de los valores de referencia para el ángulo de fase ϕ desde la referencia de Controlador de parque a la referencia local registrada por el PLL. El Controlador de parque suministra referencias de tensión y energía durante el funcionamiento normal.

30 Por lo tanto, resumiendo brevemente, los pasos ejemplares de un procedimiento de arranque en negro de acuerdo con los modos de realización de la materia objeto divulgada en el presente documento incluyen: (i) tomar, por medio de un bucle de fase bloqueada 172 un ángulo de fase de la unidad de alimentación 164 como valor de referencia para el ángulo de fase del convertidor de CC/CA 160 para iniciar un arranque en negro; (ii) suministrar, por medio del controlador de parque eólico 194, una referencia común para el ángulo de fase a todos los dispositivos de turbina eólica del parque eólico; (iii) sincronizar la referencia para el ángulo de fase con la red eléctrica externa si la red eléctrica externa está funcionando nuevamente; (iv) conectar el parque eólico a la red eléctrica; y (v) tomar, por medio del bucle de fase bloqueada 172, el valor de referencia para el ángulo de fase de la red eléctrica conectada. Cabe señalar que algunos modos de realización de la materia divulgada en el presente documento incluyen solo algunos de los pasos (i) a (v). Por ejemplo, un modo de realización incluye solo los pasos (i) y (ii).

45 La Fig. 7 muestra otro modo de realización de cómo un parque eólico se puede sincronizar con una red eléctrica. De acuerdo con un modo de realización mostrado en la Fig. 7, el parque eólico está acoplado a la red eléctrica 104 con una red de CC de alta tensión (red HVDC). Se puede emplear una red CC de alta tensión si el parque eólico se localiza lejos de tierra firme o de la distribución principal. En dicho caso, podría ser pertinente transmitir la energía a través de un enlace de CC para reducir las pérdidas. Una vez que la energía llegue a tierra firme, se convertirá de nuevo en CA. La red de CC de alta tensión comprende un convertidor de CA/CC 203 que convierte la energía de salida de CA del parque eólico recibido desde el lado de alta tensión del transformador del parque de subestación 134 en una energía de CC de alta tensión 205. La red de CC de alta tensión comprende además un convertidor de CC/CA 207 para convertir la energía de CC de alta tensión 205 en una energía de salida de CA compatible con la tensión en la red eléctrica 104. En dicho modo de realización, la unidad de sincronización 191 es un controlador de CC de alta tensión que recibe como primera entrada una señal 181 que es indicativa de la energía de CA proporcionada por el parque eólico y como segunda entrada una señal 182 que es indicativa de la alta tensión de CC en la red eléctrica, indicada en 104 en la Fig. 7. De acuerdo con un modo de realización, la señal 182 indicativa de la alta tensión de CC en la red eléctrica 104 se proporciona por un convertidor de CA/CC 203 que convierte la salida de CA del parque eólico, es decir, la salida del transformador 134 del parque de subestación en una tensión de CC. En respuesta a las señales de entrada 181 y 182, la unidad de sincronización 191 proporciona una señal de sincronización 199 al controlador de parque eólico 194. En respuesta a esto, el controlador de parque eólico 194 proporciona respectivos valores de ajuste para el ángulo de fase ϕ y la tensión V_q a los dispositivos de turbina eólica individuales 102, 402 y 405, como ya se describió con respecto a la Fig. 5.

60 Por lo tanto, de acuerdo con modos de realización ejemplares de la materia objeto divulgada en el presente documento, como alternativa a un parque eólico que está directamente conectado a la red pública, el parque eólico también se puede conectar por medio de un enlace HVDC. En esta configuración, el sistema HVDC tendrá que manejar la conexión final a la red de manera similar a unir dos redes que ya están funcionando donde no es posible sincronizar. Sin embargo, la señal de sincronización todavía se necesita también en este caso, ya que es necesario

asegurarse de que la red externa esté lista antes de que se pueda conectar el parque eólico.

5 Cabe destacar que la palabra "comprender" no excluye otros elementos o etapas y que las palabras "uno" o "una" no excluyen una pluralidad. Se pueden combinar también elementos descritos en asociación con diferentes modos de realización. Cabe destacar también que los signos de referencia en las reivindicaciones no se considerarán limitantes del alcance de las reivindicaciones.

10 Para recapitular los modos de realización descritos anteriormente de la presente invención, se puede establecer que:

15 Se divulga un dispositivo de turbina eólica que tiene en un modo de realización un generador diésel para inicializar un arranque en negro en caso de un apagón de una red eléctrica, a la cual es acoplable el dispositivo de turbina eólica. Para realizar el arranque en negro, el generador diésel proporciona una tensión predeterminada a una salida de energía del dispositivo de turbina eólica para imitar la red eléctrica en funcionamiento.

20 Además, se divulga un parque eólico, teniendo el parque eólico en un modo de realización al menos dos dispositivos de turbina eólica. En un modo de realización, un controlador de parque eólico proporciona el mismo valor de referencia para el ángulo de fase φ para las al menos dos turbinas. De acuerdo con otro modo de realización, el controlador del parque eólico proporciona un punto de ajuste de tensión.

De acuerdo con otro modo de realización, se proporciona una unidad de sincronización que sincroniza la magnitud de tensión y la fase del parque eólico y la red externa antes de que el parque eólico se conecte a la red externa. Una vez realizado este paso, las turbinas estarán listas para suministrar energía a la red.

25 Un arranque en negro, es decir, un arranque después de un apagón de la red eléctrica, y en particular un arranque en negro de un parque eólico como se describe en el presente documento, es mucho más rápido que un arranque en negro de una central eléctrica ordinaria y, por lo tanto, los modos de realización de la materia objeto divulgada en el presente documento ayudará a configurar la red en servicio mucho más rápido.

30 De acuerdo con los modos de realización de la materia objeto divulgada en el presente documento, cualquier componente adecuado del parque eólico, por ejemplo, el controlador de parque eólico 194, el controlador de CC 152, el controlador de dispositivo 171, se pueden proporcionar en forma de un respectivo producto de programa informático que permita un procesador para proporcionar la funcionalidad del respectivo componente como se divulga en el presente documento. De acuerdo con otros modos de realización, cualquiera de dichos componentes del parque eólico se puede proporcionar en hardware. De acuerdo con otros modos de realización mixtos, algunos componentes se pueden proporcionar en software mientras que otros componentes se proporcionan en hardware. Además, cabe destacar que se puede proporcionar un componente separado (por ejemplo, un módulo) para cada una de las funciones divulgadas en el presente documento. De acuerdo con otros modos de realización, al menos un componente (por ejemplo, un módulo) está configurado para proporcionar dos o más funciones como se divulga en
40 el presente documento.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de turbina eólica (102) que comprende
 - 5 - una salida de energía (166) del dispositivo de turbina eólica (102) acoplable a una red eléctrica (104);
 - un acoplador (168); y
 - 10 - una unidad de alimentación (164) adaptada para proporcionar una tensión predeterminada a la salida de energía (166) por medio del acoplador (168) cuando el acoplador (168) está en un estado acoplado en caso de un apagón de la red eléctrica (104), imitando la tensión predeterminada la red eléctrica (104) en funcionamiento.
2. Dispositivo de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la unidad de alimentación (164) incluye un generador diésel.
3. Dispositivo de turbina eólica de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 2, que comprende además
 - 20 - un transformador de turbina (122); y
 - estando configurado el acoplador (168) para acoplar la unidad de alimentación (164) al lado de turbina eólica (121) del transformador de turbina (122).
4. Dispositivo de turbina eólica de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende además
 - 25 - un dispositivo convertidor (160) para recibir energía generada por la turbina eólica (102, 402, 502) y que proporciona, en respuesta a esto, una energía de CA convertida en una salida de convertidor (166); y
 - 30 - un controlador de fase (172) para sincronizar el ángulo de fase (φ) de la energía convertida con el ángulo de fase (φ_1) de la tensión predeterminada proporcionada por la unidad de alimentación (164).
5. Dispositivo de turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 4, teniendo el dispositivo convertidor (160) una entrada de control (161) para recibir desde un controlador de parque eólico (194) al menos un punto de ajuste (φ , V_q) para el dispositivo convertidor (160).
6. Parque eólico que comprende:
 - 35 - un dispositivo de turbina eólica (102) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5;
 - 40 - un dispositivo de turbina eólica adicional (402, 502) que tiene una salida de energía (166) acoplable a la red eléctrica; y
 - 45 - un acoplador adicional (122, 134, 159, 184, 186, 188, 190, 192) para acoplar la salida de energía (166) del dispositivo de turbina eólica a la salida de energía (166) del dispositivo de turbina eólica adicional (402, 502) para arrancar el dispositivo de turbina eólica adicional (402, 502) en caso de un apagón de la red eléctrica.
7. Parque eólico de acuerdo con la reivindicación 6, que comprende además
 - 50 - una disposición de control de parque eólico (194, 196, 198) configurada para proporcionar puntos de ajuste idénticos de una variable relacionada con la energía de salida (φ , V_q) tanto al dispositivo de turbina eólica (102) como al dispositivo de turbina eólica adicional (402, 502) en el que el dispositivo de turbina eólica adicional (402, 502) comprende una entrada de control (161) para recibir desde un controlador de parque eólico al menos un punto de ajuste para el dispositivo convertidor (160).
8. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6 o 7, que comprende además
 - 55 - un punto de acoplamiento común (106), al cual son acoplables el dispositivo de turbina eólica (102) y el dispositivo de turbina eólica adicional (402, 502);
 - 60 - un acoplador de parque (110), teniendo el acoplador de parque (110) un primer estado en el que el punto de acoplamiento común (106) está conectado a la red eléctrica (104), teniendo el acoplador de parque (110) un segundo estado, en el cual el punto de acoplamiento común (106) está desconectado de la red eléctrica (104); y
 - 65 - una unidad de sincronización (191) conectable al punto de acoplamiento común (106) y a la red eléctrica (104) para determinar la frecuencia de la energía proporcionada por el dispositivo de turbina eólica (102, 402,

502) y de la frecuencia de la red eléctrica (104) y para proporcionar, en respuesta a esto, una señal de sincronización (199) a un controlador de parque eólico (194) para sincronizar la frecuencia de la energía proporcionada por la turbina eólica (102, 402, 502) a la frecuencia de la red eléctrica (104);

5 - estando el controlador de parque eólico (194) configurado para permitir que el acoplador del parque (110) se configure en el primer estado si la frecuencia de la energía proporcionada por el dispositivo de turbina eólica (102, 402, 502) está sincronizada con la frecuencia de la red eléctrica (104).

10 **9.** Procedimiento de arranque en negro de un dispositivo de turbina eólica (102, 402, 502) de acuerdo con la reivindicación 1 después de un apagón de una red eléctrica (104) a la cual es acoplable el dispositivo de turbina eólica, comprendiendo el procedimiento:

15 - proporcionar una tensión predeterminada a una salida de energía del dispositivo de turbina eólica (102, 402, 502) por medio de la unidad de alimentación (164) por medio del acoplador (168), imitando la tensión predeterminada a la red eléctrica (104) en funcionamiento.

10. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 9, que comprende además:

20 - proporcionar la tensión predeterminada (102, 402, 502) con un generador diésel (164).

11. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 9 o 10, comprendiendo además el procedimiento:

25 - ajustar a cero ambas, la energía activa y la energía reactiva, para que se generen por el dispositivo de turbina eólica (102, 402, 502) cuando comience a proporcionar la tensión predeterminada al dispositivo de turbina eólica (102, 402, 502).

30 **12.** Procedimiento de arranque en negro de un parque eólico (100) después de un apagón de una red eléctrica (104) a la cual es acoplable el parque eólico (100), teniendo el parque eólico (100) al menos dos dispositivos de turbina eólica (102, 402, 502) de acuerdo con la reivindicación 1, comprendiendo el procedimiento:

35 - proporcionar un punto de ajuste idéntico de una variable relacionada con la energía de salida (φ , V_q) a cada uno de los al menos dos dispositivos de turbina eólica (102, 402, 502) antes de conectar el respectivo dispositivo de turbina eólica (102, 402, 502) a la red eléctrica (104) y arrancar en negro el respectivo dispositivo de turbina eólica (102, 402, 502) de acuerdo con el procedimiento de la reivindicación 9.

13. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 12, comprendiendo además el procedimiento:

40 - arrancar en negro posteriormente los al menos dos dispositivos de turbina eólica (102, 402, 502);

- conectar los al menos dos dispositivos de turbina eólica (102, 402, 502) a la red eléctrica (104) después de que todos los al menos dos dispositivos de turbina eólica (102, 402, 502) se hayan arrancado en negro.

45 **14.** Un programa informático para controlar un objeto físico, a saber, un dispositivo de turbina eólica (102, 402, 502), adaptándose el programa informático, cuando se ejecuta por un procesador de datos, para controlar el procedimiento como se establece en una cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11.

15. Un programa informático para controlar un objeto físico, a saber, un parque eólico (100), adaptándose el programa informático, cuando se ejecuta mediante un procesador de datos, para controlar el procedimiento como se establece en una cualquiera de las reivindicaciones 12 o 13.

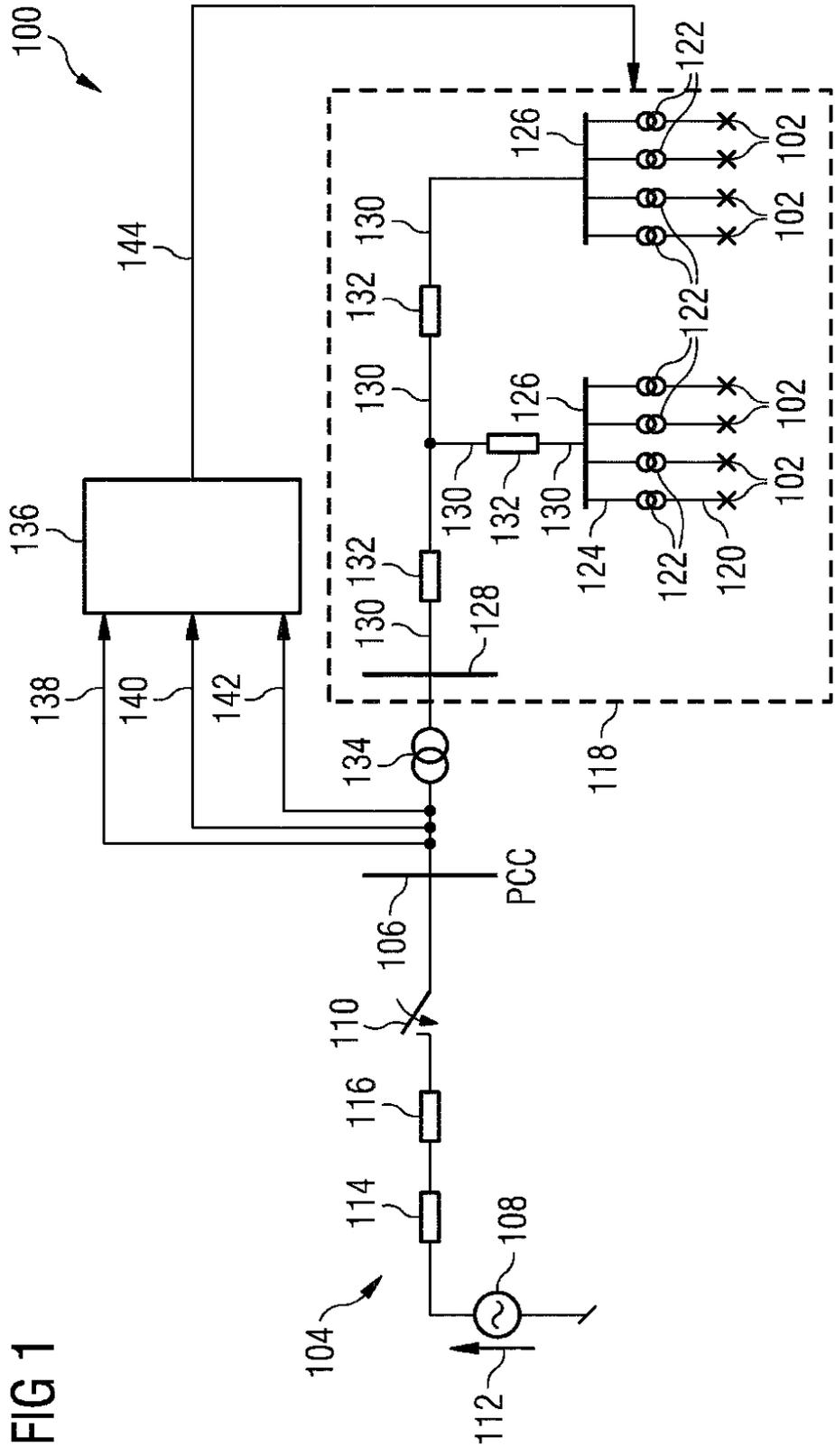


FIG 1

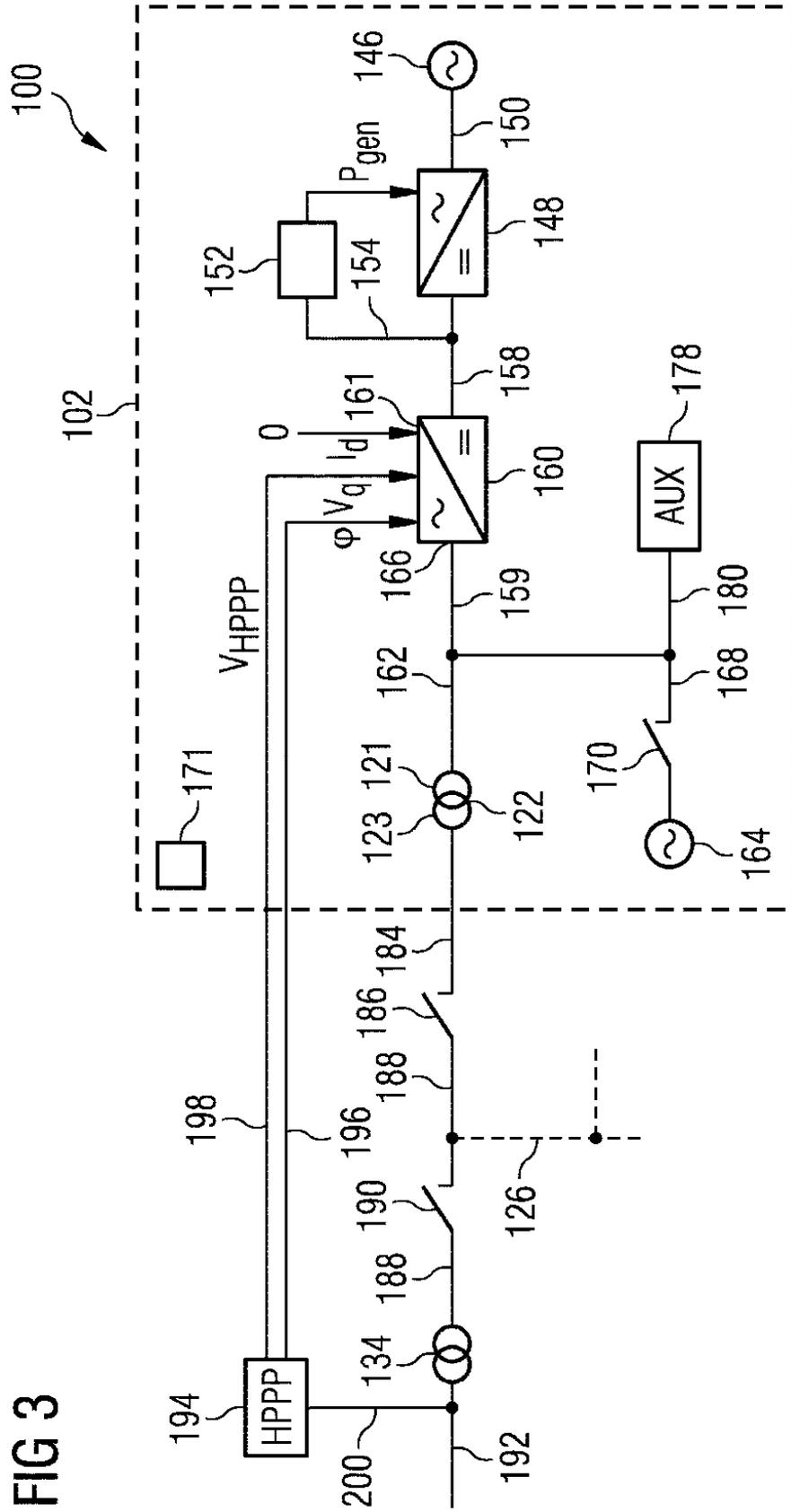


FIG 3

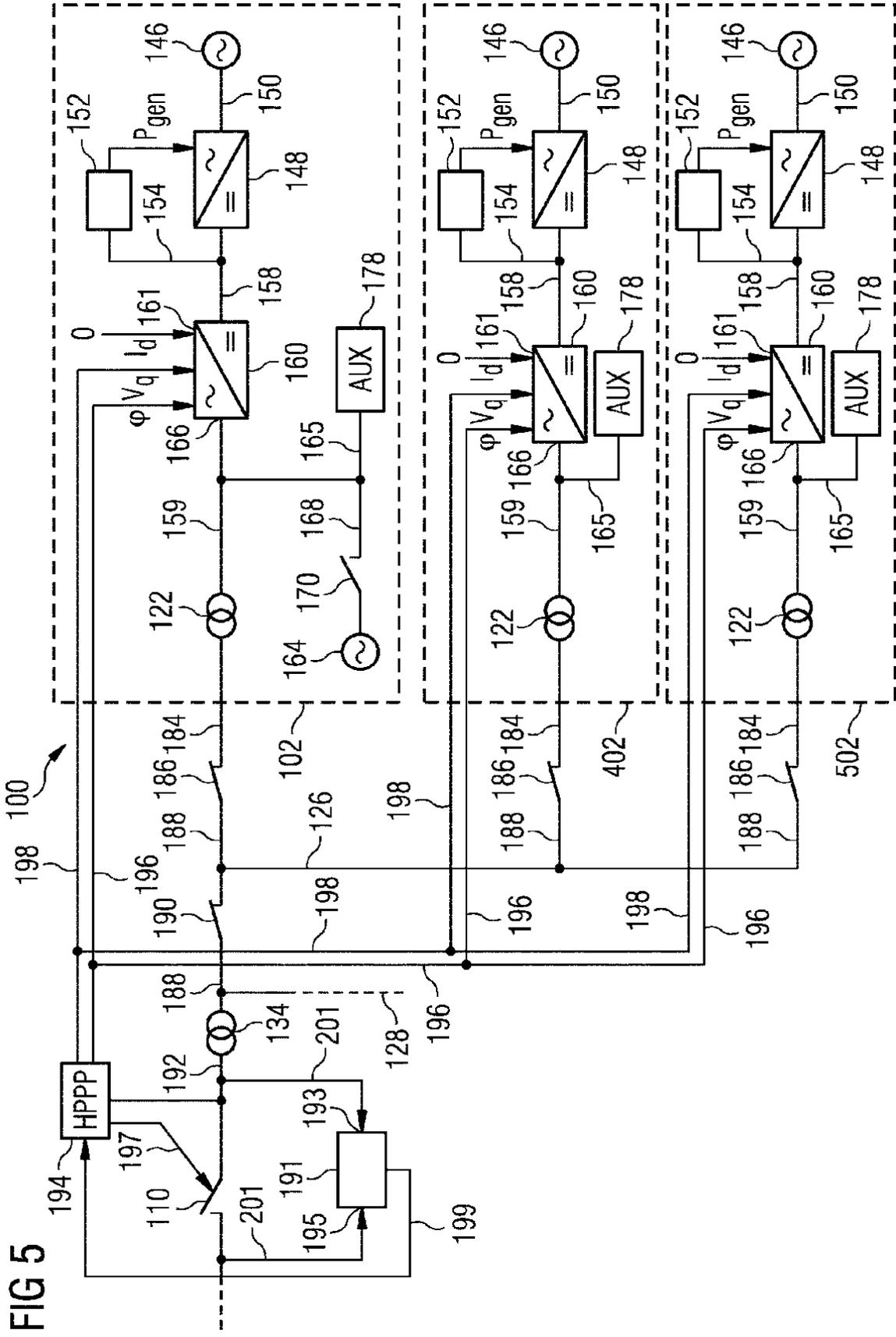


FIG 5

