

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 669 001**

51 Int. Cl.:

F03D 7/04 (2006.01)

G05B 19/042 (2006.01)

H04J 3/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.05.2010 PCT/DK2010/050113**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.12.2010 WO10136042**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.05.2010 E 10720258 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.04.2018 EP 2435885**

54 Título: **Un tiempo global preciso y un tiempo máximo de transmisión**

30 Prioridad:

25.05.2009 DK 200900651
04.06.2009 US 184189 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.05.2018

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK

72 Inventor/es:

BENGTSON, JOHN

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 669 001 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

Un tiempo global preciso y un tiempo máximo de transmisión

5 Campo de la invención

La invención se refiere a un método de, y a un sistema para, controlar un sistema de energía eólica.

Antecedentes

10 En los últimos años la supervisión, control y regulación en sistemas de energía eólica se han convertido en cada vez más sofisticados y como consecuencia los requisitos para velocidad de procesamiento de datos, precisión y fiabilidad en la comunicación de los datos y con relación a la correlación temporal de los datos se ha incrementado. En consecuencia, los requisitos, por ejemplo de precisión en el dominio del tiempo y el conocimiento de la infraestructura de comunicación de datos de un sistema de energía eólica se han incrementado.

15 Esto último es especialmente el caso en plantas de generación eólica que hoy en día cubren frecuentemente grandes áreas geográficas y en consecuencia se ha incrementado la cantidad de datos en la infraestructura de comunicación de datos de la planta de energía eólica. La cantidad incrementada de datos transmitidos a través de la red de comunicación de datos puede conducir a diferentes incertidumbres que pueden tener efectos sobre el sistema de control de la planta de generación eólica.

20 El documento US 5.923.902 divulga un sistema de red en el que se interconectan entre sí una pluralidad de nodos para transferir un paquete de datos desde un nodo de transmisión a un nodo de recepción de modo que impulsen los mismos simultáneamente. En el modo de transmisión, un dispositivo de estimación estima el retardo de tiempo que existe entre el nodo de transmisión y cada uno de los nodos de recepción y que varía entre los nodos de recepción. Un dispositivo de determinación detecta un máximo de los retardos de tiempo estimados de modo que se establezca un tiempo de referencia mediante el cual todos los nodos de recepción pueden sincronizarse entre sí. Un dispositivo de transmisión transmite un paquete de datos a los nodos de recepción junto con el tiempo de referencia marcado sobre el paquete de datos. En cada uno de los modos de recepción, un dispositivo de recepción recibe el paquete de datos junto con el tiempo de referencia marcado. Un dispositivo de ajuste retiene temporalmente el paquete de datos recibido para ajustar la diferencia en retardo de tiempo entre los nodos de recepción de acuerdo con el tiempo de referencia de modo que todos los nodos de recepción puedan impulsarse simultáneamente entre sí.

35 Sumario

La invención se refiere a un método de control de un sistema de energía eólica que comprende una pluralidad de elementos del sistema, incluyendo adicionalmente dicho sistema de energía eólica una pluralidad de procesadores de datos distribuidos en dichos elementos del sistema, comprendiendo el método las etapas tal como se definen en la reivindicación 1.

La invención se refiere también a un sistema de generación eólica tal como se define en la reivindicación 12.

45 Los elementos del sistema comprendidos en el sistema de generación eólica pueden entenderse de acuerdo con la invención, por ejemplo, como elementos de una planta de generación eólica o elementos de comunicación con una planta de generación eólica. Por ello los elementos del sistema pueden ser, por ejemplo, turbinas eólicas, subestaciones, controladores localizados interna o externamente con relación a la planta de generación eólica, unidades de comunicación para la comunicación internamente dentro de la planta de generación eólica o desde la planta de generación eólica a unidades de comunicación externa.

50 Tanto si los elementos del sistema están comunicando, controlando o procesando datos, los elementos del sistema pueden comprender uno o más procesadores de datos, y los procesadores de datos distribuirse en los elementos del sistema de acuerdo con las tareas individuales e implementaciones de los elementos del sistema.

55 Debería tenerse en cuenta que no todos los elementos del sistema comprenden procesadores de datos, un ejemplo podría ser una estación metrológica que incluye solamente una unidad de medición de una temperatura y/o un viento.

60 El control de un sistema de generación eólica, en particular grandes sistemas tales como plantas de generación eólica con diversos elementos del sistema tales como turbinas eólicas y subestaciones, está soportado ventajosamente de acuerdo con la presente invención mediante la provisión de un instrumento para planificar o priorizar la transmisión de señales de control dentro del sistema. Este instrumento de soporte se basa en estimaciones del tiempo de transmisión entre los nodos en el sistema, en particular el tiempo de transmisión desde el controlador central u otro nodo de generación de señales de control a los controladores de turbina eólica u otros nodos receptores de señales de control localizados remotamente respecto al controlador central. Las estimaciones del tiempo de transmisión pueden usarse ventajosamente para calcular, por ejemplo, el último tiempo posible en el

que puede transmitirse la instrucción de control para alcanzar al receptor a tiempo de llevar a cabo la instrucción en el momento deseado, o, por ejemplo, clasificar o priorizar las señales de control de acuerdo con no solamente su momento de ejecución deseado, sino su instante de ejecución menos el tiempo de transmisión estimado.

- 5 El término tiempo de transmisión o estimación del tiempo de transmisión debe entenderse como una suma de retardos que tienen lugar en una red de comunicación de datos con relación a la transmisión de información, por ejemplo, en la forma de un paquete de datos, desde un nodo a otro nodo de la red de comunicación de datos. Los ejemplos de retardos incluidos en el tiempo de transmisión podrían ser el retardo de transmisión, retardo de procesamiento, retardo de colas, retardo de propagación, etc. Adicionalmente con relación al inicio de la transmisión y la recepción del paquete de datos, pueden tener lugar retardos adicionales de manejo y procesamiento.

Debería observarse que no todos los retardos mencionados están presentes en todos los tipos de redes de comunicación de datos o protocolos de transmisión.

- 15 De acuerdo con la invención un nodo define típicamente un componente en la red de comunicación de datos o en un elemento del sistema. Dicho componente podría ser, por ejemplo, un conmutador de red u otras unidades dirigidas al control, medición o distribución físicamente de paquetes de datos en una red de comunicación de datos o en un elemento del sistema.

- 20 Pueden definirse adicionalmente nodos como controladores o dispositivos de medición del sistema de energía eólica, que generan o reciben instrucciones de control. Debería observarse que típicamente están presentes uno o más procesadores de datos en o con relación a los nodos en un sistema de energía eólica.

- 25 En otras palabras, los nodos de acuerdo con la invención son componentes del sistema de energía eólica, entre los que se transmiten datos; por ello puede hacerse referencia a una subestación o una turbina eólica como nodos.

- 30 Puede hacerse referencia a un nodo ya sea como un "nodo" y como un "nodo remoto" cuya única diferencia es que el "nodo remoto" es el receptor de instrucciones o mediciones que se originan desde un "nodo" de producción. El mismo nodo puede ser tanto "nodo" como "nodo remoto", por ejemplo en el caso de un nodo que recibe datos y pasa a continuación estos datos a otro nodo en el sistema de energía eólica.

- 35 El método de control de la presente invención es particularmente beneficioso en grandes plantas de generación eólica con varias turbinas eólicas y largas distancias, debido a que los tiempos de transmisión en dicho sistema pueden ser significativamente diferentes debido a diferentes, grandes distancias y diferentes tipologías de red y tecnologías. Esto último es particularmente significativo en plantas de generación eólica que se han ampliado en diversas fases, y por lo tanto incluyen tecnologías y topologías de diferente edad y escala.

- 40 De acuerdo con el alcance de la invención, se proporciona un controlador central para el control de diversas turbinas eólicas remotas y posiblemente también subestaciones. Esto se consigue típicamente mediante el acoplamiento del controlador central, las turbinas eólicas y las subestaciones a una red de datos como nodos. Una turbina eólica puede comprender diversos nodos, por ejemplo si diversos procesadores de datos dentro de la turbina eólica o relacionados con la turbina eólica actúan como componentes de red individuales. En realizaciones alternativas las turbinas eólicas comprenden un único nodo constituido mediante, por ejemplo, un controlador de la turbina eólica, que su vez controla los procesadores de datos locales dentro de la turbina eólica. Se ha de observar, que cualquier clase adecuada de red de datos o medio de comunicación de datos está dentro del alcance de la presente invención. En una realización preferida, la red comprende una red compatible con SCADA.

- 50 Como se ha mencionado anteriormente, la presente invención es particularmente beneficiosa en grandes sistemas, por ejemplo, en los que un controlador central controla diversas turbinas eólicas remotas y posiblemente subestaciones dentro de una planta de generación eólica. Una realización alternativa dentro del alcance de la presente invención comprende el control interno en una turbina eólica, en el que diferentes procesadores de datos, por ejemplo un controlador del paso, controlador superior, controlador del buje, etc. se controlan por el controlador de la turbina eólica, y las estimaciones del tiempo de transmisión representan el retardo desde el controlador de la turbina eólica a los diferentes procesadores de datos. Se ha de observar que la ejecución de una señal de control armada en un tiempo de ejecución puede comprender el envío de la instrucción a un procesador de datos corriente abajo.

- 60 Evidentemente, una realización en la que están asociados diversos procesadores de datos con un único nodo o nodo remoto, por ejemplo, en la que todos los procesadores de datos en una turbina eólica comunican a través del controlador de la turbina eólica, o donde diversos procesadores de control comunican a través del controlador central, está dentro del alcance de la presente invención.

- 65 Una ventaja obtenida dentro del alcance de la presente invención comprende el control a través de distancias muy grandes, en las que las señales de control pueden generarse y transmitirse desde un nodo, por ejemplo un centro de control, por ejemplo en Dinamarca, a nodos remotos, por ejemplo controladores de turbina eólica localizados en las turbinas eólicas, subestaciones o un controlador central de una planta de generación eólica, por ejemplo en Nueva

Zelanda. En dicha situación los tiempos de transmisión pueden convertirse en más significativos y a su vez la posibilidad de considerar los retardos dentro de la planificación y priorización puede convertirse en crucial.

5 La estimación del tiempo de transmisión debería comprender preferentemente todos los retardos que tienen lugar entre el tiempo de transmisión desde el nodo y el tiempo en el que el proceso final, el nodo remoto, es capaz de ejecutar la instrucción. Por lo tanto, la estimación del tiempo de transmisión incluye el tiempo que le lleva al nodo introducir la señal de control, por ejemplo un paquete de datos, dentro de la red, el retardo de propagación que representa el tiempo que le lleva a la señal viajar a través del cableado o aire, cualquier retardo de colas presentes en cualquier nodo, nodo remoto o componentes de la red intermedios, cualquier retardo de procesamiento provocado por cualquier componente de la red intermedio o asociado con la recepción y decodificación de la señal de control en el nodo remoto, etc.

15 Las estimaciones del tiempo de transmisión en un sistema de energía eólica pueden comprender retardos desde el intervalo de microsegundos al intervalo de milisegundos, pero cualquier intervalo de retardos está dentro del alcance de la presente invención. En particular en realizaciones en las que las señales de control se generan, por ejemplo, en un país y se reciben en otro, el tiempo de transmisión puede convertirse en significativamente mayor.

20 El establecimiento de estimaciones del tiempo de transmisión, en la red de comunicación de datos usada para un control fuerte en tiempo real, se lleva a cabo preferentemente mediante la suma de los retardos del peor caso de los diferentes retardos que tienen lugar en la red de comunicación de datos. Estos retardos podrían obtenerse mediante el análisis de diversos retardos de transmisión o mediciones del tiempo de transmisión o mediante el cálculo de las bases de retardos de transmisión del peor caso con el conocimiento detallado de la topología y función de la red.

25 Preferentemente las estimaciones del tiempo de transmisión se actualizan regular o frecuentemente mediante la realización de mediciones del tiempo de transmisión, llevando a cabo algoritmos de comunicación particulares, por ejemplo algoritmos de saludo, con la finalidad de exponer el tiempo de transmisión, o incluyendo simplemente información de tiempos en todas o en diversas clases de transmisiones de datos a partir de las que pueden deducirse los retardos. En una realización alternativa, los retardos se establecen solamente o se actualizan en instantes de mantenimiento específicos, por ejemplo una vez al día, en cada mantenimiento o visita de control, o solamente en los momentos de implementar la planta de generación eólica o bajo demanda específica.

Debería observarse que la red de comunicación de datos incluye también la red interna de los elementos del sistema para comunicación de datos internamente entre partes o nodos, por ejemplo, de la turbina eólica o subestaciones.

35 Cuando se usan valores promediados para el tiempo de transmisión en una red de comunicación de datos, no se podrá garantizar que todos los paquetes de datos que contienen datos de control alcanzarán siempre su destino en el instante debido antes del momento planificado para ejecución. De ahí que una estimación del tiempo de transmisión para el tiempo de transmisión entre dos nodos de una red de comunicación de datos basándose en valores promedios es preferida en redes de comunicación de datos usadas para control en tiempo real suave por ejemplo control de no tiempo crítico tales como el control basado en mediciones de temperatura.

45 Frecuentemente las redes de comunicación en sistemas en tiempo real fuerte tienen arquitecturas y propiedades específicas que garantizan que nunca se superan los retardos de transmisión del peor caso especificados. Estas propiedades también permiten cálculos precisos y fiables sobre los retardos de transmisión a ser ejecutados.

50 Si, la red de comunicación de datos en tiempo real fuerte que facilita, por ejemplo, el control del tiempo de conmutación en un convertidor de potencia para la conformación de la salida de potencia, se cambia, por ejemplo, añadiendo nodos adicionales, más conmutadores de red, etc., debe verificarse de nuevo la estimación del tiempo de transmisión de dicha red de comunicación de datos cambiada.

55 De acuerdo con la invención los términos de tiempo real "suave" y "fuerte" se interpretan como sigue. Los sistemas de tiempo real "fuerte" están siempre en sincronismo con sus entornos, es decir nunca falla la entrega de los datos en el tiempo debido para ejecución. Los sistemas de tiempo real "suave" permiten ocasionalmente el fallo en la entrega de datos en el tiempo debido para ejecución, por ello no puede garantizarse que los sistemas de tiempo real suave estarán siempre en sincronismo con sus entornos.

60 De acuerdo con la invención un sistema de tiempo real fuerte podría ser el sistema de control para controlar el control de potencia, que define la salida de potencia de las turbinas eólicas o subestaciones. Aún de acuerdo con la invención un sistema de tiempo real suave podría ser un sistema de control para controlar las superficies aéreas tales como paso, aletas de borde adaptativas, etc., control de motores, bombas, accionadores, etc. En tiempo real suave, si una señal de control, en una única ocasión, no consigue alcanzar a su consumidor en el tiempo debido para ejecución, una ejecución retardada es muy probable que realice la función perfectamente bien.

65 Debería observarse que la presente invención es aplicable tanto en sistemas de comunicación de datos de tiempo real fuerte como suave.

La correlación del tiempo de transmisión con el tiempo deseado de ejecución de una instrucción particular por un procesador de datos particular puede de acuerdo con la presente invención, por ejemplo, comprender el cálculo del tiempo restante hasta el tiempo deseado de ejecución y comparar esto con la estimación del tiempo de transmisión. Si la estimación del tiempo de transmisión es mayor, es improbable que el procesador de datos particular sea capaz de recibir la instrucción a tiempo de ejecutarla en su instante deseado. Si la estimación del tiempo de transmisión es igual al tiempo restante, la señal de control debería transmitirse inmediatamente con máxima prioridad, por ejemplo prioridad de tiempo real. Si la estimación del tiempo de transmisión es significativamente más corta, el controlador podría mantener las correlaciones de control para permitir el paso de otras señales, priorizadas más altas, o podría transmitirla en cualquier forma, posiblemente con una baja prioridad.

En una realización alternativa dentro del alcance de la presente invención la correlación comprende la resta de la estimación del tiempo de transmisión del tiempo de ejecución y comparar el tiempo resultante con el tiempo actual. Si el tiempo resultante es previo al tiempo actual es improbable que el nodo remoto reciba la señal de control a tiempo. En el caso de que se hayan de transmitir diversas señales de control, el nodo de envío debería realizar preferentemente las correlaciones para las diversas señales antes de transmitir cualquiera de las señales, debido a que los resultados de la correlación proporcionan una base ventajosa para priorizar y clasificar las transmisiones.

Puede usarse el conocimiento del tiempo de transmisión por un procesador de datos que produce, por ejemplo, instrucciones de control a un procesador de datos consumidor, para establecer un esquema de planificación que garantice que las instrucciones de control se producen en el tiempo debido antes de un "último instante de tiempo" requerido para transmitir las instrucciones de control a los procesadores de datos consumidores.

El procesador de datos / nodo productor puede comunicar con un planificador, que preferentemente está con referencia a, o está sincronizado con, la señal de referencia establecida, y por ello la producción de instrucciones de control por el procesador de datos productor / nodo productor se ejecuta con relación a la señal de referencia.

El nodo consumidor / nodo remoto puede comunicar también con un planificador que también hace referencia a la señal de referencia. Sin embargo, pueden usarse otros métodos de control, como, por ejemplo, un control basado en interrupciones.

De acuerdo con la presente invención una señal de control armada se entiende como una señal que comprende como una parte de sus datos un instante deseado de ejecución de la instrucción también comprendida por la señal. Evidentemente también cualquier variante de este concepto así como equivalentes, por ejemplo dos señales de datos sustancialmente adyacentes en las que una comprende el tiempo de ejecución y la otra la instrucción, está dentro del alcance de la presente invención. De acuerdo con la presente invención, las instrucciones comprendidas por la señal de control pueden, por ejemplo, comprender instrucciones para accionadores, circuitos de control electrónico, transductores o medios electrónicos para medir, o cualesquiera otras instrucciones para las que puede ser relevante un tiempo específico de ejecución. Adicionalmente la señal de control armada puede iniciar una secuencia de instrucciones, por ejemplo mediciones, en un intervalo predefinido y continuar estas mediciones hasta que se reciba una señal de control con instrucciones de "parada".

De acuerdo con la invención el conocimiento del tiempo de transmisión máximo entre dos nodos en la red de comunicación de datos del sistema de energía eólica y el conocimiento de una señal de tiempo preciso puede mejorar significativamente las posibilidades de un análisis preciso y sofisticado del sistema de energía eólica.

A todo lo largo de la presente descripción puede hacerse referencia a la señal de referencia como el tiempo preciso. La señal de referencia o tiempo preciso comprende una representación absoluta o relativa del tiempo en un dominio del tiempo con una cierta precisión. De ahí que una señal de referencia de alta precisión sea precisa con un mínimo de fluctuación permitiendo que el tiempo interno de una pluralidad de procesadores de datos esté sincronizado con el dominio del tiempo.

De acuerdo con la invención la señal de referencia es un tiempo preciso y es global en el sentido de que se distribuye a todos los elementos o a al menos la mayoría de los elementos del sistema de energía eólica. De ese modo es posible que todos los procesadores de datos del sistema de energía eólica se refieran al tiempo preciso.

Una derivada de la señal de referencia puede, por ejemplo, derivarse por división de frecuencia y usarse para sincronizar los procesadores de datos. De ese modo es posible usar la misma señal de referencia para todos los procesadores de datos independientemente de sus requisitos.

La señal de referencia puede distribuirse, por ejemplo, por medio de una red de comunicación de datos, por ejemplo la misma red de comunicación de datos también usada para comunicar datos de control y medición o distribuirse por una red o cableado separado.

De acuerdo con la invención la señal de referencia puede transmitirse a través del aire, por ejemplo en una red inalámbrica o a través de cables, por ejemplo hechos de cobre, fibras, etc. Adicionalmente la señal de referencia puede derivarse también de una señal GPS.

En una realización de la invención dicha estimación del tiempo de transmisión se establece sobre la base de una pluralidad de representaciones de retardo de transmisión y procesamiento.

5 Las estimaciones del tiempo de transmisión pueden establecerse sobre la base de diversas representaciones de retardo de transmisiones y procesamiento, es decir diversos retardos particulares medidos, calculados o deducidos en otra forma de la red real, o estimados o predichos a partir de simulaciones o consideraciones teóricas. Las representaciones del tiempo de transmisión se basan preferentemente en información obtenida de transmisiones de datos previos. La estimación del tiempo de transmisión puede basarse en todas las representaciones de retardos previos, o la significancia de las representaciones puede ponderarse por su edad. Preferentemente, solo se usa un número limitado de representaciones de retardo previas para establecer la estimación del tiempo de transmisión, por ejemplo en términos de número o edad. El establecimiento de una estimación del tiempo de transmisión sobre la base del número de representaciones del tiempo de transmisión puede comprender, por ejemplo, la elección del retardo más largo de entre las representaciones, promediando los retardos de todas las representaciones, promediando los retardos con una ponderación de acuerdo con su frecuencia, probabilidad o distribución, etc.

15 En una realización de la invención dicha señal de control armada comprende una instrucción para realizar una medición y en la que dicha transmisión de dicha señal de control armada desde dicho nodo a dicho nodo remoto se realiza previamente a un tiempo en el que se necesita un resultado de la medición por dicho nodo mediante un intervalo de tiempo que corresponde a, o es mayor que, dos veces la estimación del tiempo de transmisión establecida más un tiempo de medición.

25 La expresión, "tiempo de medición" se refiere al tiempo que le lleva al procesador de datos interpretar la instrucción de control, realizar una medición de acuerdo con ella, y establecer una señal de datos con el resultado. Mediante la consideración del tiempo estimado y acumulado que lleva antes de que un resultado de la medición se reciba en el control central después de que se envíe la instrucción para llevar a cabo la medición, el control central es capaz de saber si será capaz o no de hacer uso de la medición particular, incluyendo si tendrá o no tiempo, incluyendo el tiempo de transmisión, para hacer que un procesador de datos en un nodo remoto lleve a cabo un acto de control en consecuencia.

30 En una realización de la invención dichos procesadores de datos son parte de un controlador de una turbina eólica, controlador de subestación o un controlador central de una planta de generación eólica.

35 En una realización de la invención dicho sistema de energía eólica comprende una pluralidad de nodos remotos con estimaciones del tiempo de transmisión establecidas entre dicho nodo y dichos nodos remotos, y en el que dicho control de dicho sistema de energía eólica comprende la transmisión de señales de control armadas a una parte de un bajo retardo de los nodos remotos que se caracteriza por estimaciones del tiempo de transmisión que permiten la ejecución de una instrucción de ejecución en un tiempo definido de ejecución.

40 Por ello, se hace posible ejecutar instrucciones de control con un preaviso muy corto en una forma controlada porque el controlador central sabe qué procesadores de datos en cuáles de las turbinas eólicas serán capaces de recibir la instrucción previamente al tiempo de ejecución. Esto permite al controlador central en la planta de generación eólica aprovechar las turbinas eólicas en subestaciones con tiempo de transmisión corto. Otro beneficio de esto es que el controlador central puede evitar tener procesadores de datos con largos tiempos de transmisión realizando instrucciones después del tiempo deseado de las ejecuciones, lo que en el peor caso podría incluso amplificar una situación adversa en un sistema de energía eólica.

En una realización de la invención dicha parte de bajo retardo de los nodos remotos se utiliza para un control aerodinámico de alta precisión de las palas de las turbinas eólicas del sistema de energía eólica.

50 De acuerdo con la invención el control aerodinámico puede incluir, el control del cambio de paso, aletas de bordes en solitario y en combinación con el control de paso.

En una realización de la invención dicha parte de bajo retardo de los nodos remotos se utiliza para un control de alta precisión de los convertidores de potencia de las turbinas eólicas o subestaciones del sistema de energía eólica.

55 Por ello, el control de alta precisión de los convertidores de potencia permite al controlador de la turbina eólica o al controlador de la subestación conformar la salida de potencia. La conformación de la salida puede estar en la forma de cambio de la frecuencia, ángulo de fase, tensión, etc. en la salida de potencia sinusoidal de la turbina eólica.

60 El control de alta precisión de los convertidores de potencia puede realizarse basándose en al menos un valor operativo de la red eléctrica, por ejemplo, la tensión, ángulo de fase, frecuencia, etc.

Una subestación puede usarse para almacenar energía, por ejemplo producida por turbinas eólicas y mediante el control de alta precisión de los convertidores de potencia de dichas subestaciones de almacenamiento de energía, se hace posible realizar un control preciso de la acumulación de la energía producida. La acumulación de energía podría estar, por ejemplo, en la forma de aire comprimido, baterías, etc.

Adicionalmente se hace posible conformar la salida de potencia de un dispositivo de almacenamiento de energía, lo que es ventajoso, por ejemplo, en situaciones en las que las turbinas eólicas no están produciendo energía, por ejemplo, debido a bajas velocidades del viento. En dicha situación es posible que un almacenamiento de energía suministre energía a la red y debido al control de alta precisión del convertidor de potencia del dispositivo de almacenamiento, la salida de potencia del almacenamiento de energía puede conformarse para cumplir con las demandas de la red.

En una realización de la invención se asocia un atributo de transmisión, por ejemplo un atributo de prioridad o un atributo de calidad, con dichas señales de control armadas, y en la que dicho establecimiento de una estimación del tiempo de transmisión entre dicho nodo y dicho nodo remoto comprende el establecimiento de estimaciones del tiempo de transmisión para diferentes valores de dicho atributo de transmisión.

Pueden existir dos o más diferentes tiempos de transmisión entre los mismos dos nodos dependiendo del valor de uno o más atributos de transmisión. Esto puede ser, por ejemplo, en el caso de que se asocien las señales de control con un atributo de prioridad, en el que un valor de, por ejemplo, "alta prioridad" hace que la señal de control sea pasada a través de la red donde sea posible con menor retardo que, por ejemplo, con el valor del atributo de prioridad en "normal".

En una realización de la invención dicho control de dicho sistema de generación eólica comprende la ejecución de un algoritmo de predicción o un algoritmo de simulación para predecir actos de control que pueden ser significativos para llevar a cabo en un futuro, y en el que se determina un período de tiempo de predicción al menos parcialmente sobre la base de dicha estimación del tiempo de transmisión establecido.

El conocimiento de la estimación del tiempo de transmisión puede usarse para establecer cómo de lejos en el futuro se requiere que se realice la predicción o algoritmos de simulación de un sistema de control. Por ejemplo, si la estimación del tiempo de transmisión entre el controlador central y un controlador de turbina eólica particular es de 10 ms, un algoritmo de predicción de fallo debería predecir al menos 10 ms en el futuro, más cualquier tiempo necesario para procesar una alerta predicha y establecer las señales de control. Si la estimación del tiempo de transmisión a un controlador de turbina eólica diferente es de solo 5 ms, el algoritmo de predicción de fallo podría esperar otros 5 ms antes de establecer la señal de control para la segunda turbina eólica, y de ese modo establecer probablemente una instrucción de control más precisa.

En una realización de la invención un tiempo representado por dicha señal de referencia es preciso hasta el microsegundo más próximo.

La señal de referencia es una señal de tiempo precisa originada a partir de una disposición de sincronización de tiempo situada interna o externa respecto a la planta de energía eólica. La señal de tiempo precisa, a la que se hace referencia también en la presente descripción como un tiempo preciso, representa un dominio de tiempo preciso con el que pueden sincronizarse los procesadores de datos.

La señal de referencia es una señal de tiempo preciso y es global en el sentido de que se distribuye a todos o a al menos un subconjunto de todos los elementos del sistema de energía eólica y crea un tiempo de precisión global dentro del sistema de generación eólica. Es por lo tanto posible para todos o para un subconjunto de todos los procesadores de datos del sistema de generación eólica referirse a la señal de tiempo precisa; de ahí que los procesadores de datos que se refieren a la señal de referencia queden de ese modo sincronizados.

En una realización de la invención dicho control de dicho sistema de generación eólica comprende la ejecución de una instrucción de ejecución síncrona en al menos dos nodos remotos.

La comunicación entre nodos en la red de comunicación de datos puede basarse en protocolos activados por tiempo y Ethernet activada por tiempo.

En una realización de la invención dicha señal de referencia que se genera por una o más unidades de generación de reloj comprendidas por dicha disposición de sincronización de tiempo, y en el que dicha disposición de sincronización del tiempo forma de ese modo un ecosistema de red tolerante a fallos.

El ecosistema de red tolerante a fallos puede comprender una o más disposiciones de sincronización del tiempo. Dichas disposiciones de sincronización del tiempo pueden comprender agrupaciones de unidades de generación de reloj o circuitos de generación de una señal de reloj o de referencia en cooperación mutua. De ahí que si una unidad de generación del reloj falla otra unidad de generación del reloj de la agrupación continúa generando la señal de referencia. De este modo una disposición de sincronización del tiempo es aún capaz de producir una señal de referencia si falla una unidad de generación del reloj.

Del mismo modo si el ecosistema de red comprende, por ejemplo, dos o más disposiciones de sincronización de tiempo el ecosistema de red se convierte en tolerante a fallos, es decir si una de estas disposiciones de sincronización del tiempo falla otra disposición de sincronización de tiempo continúa produciendo y distribuyendo la

señal de referencia en el ecosistema de red.

Debería mencionarse que mediante la introducción de la redundancia en el ecosistema de red puede incrementarse la tolerancia a fallos en el ecosistema de red como se describe a continuación.

5

Figuras

- La Figura 1 ilustra una turbina eólica moderna,
- La Figura 2 ilustra una planta de generación eólica,
- La Figura 3a ilustra la red de comunicación de una planta de generación eólica de acuerdo con una realización de la invención y
- La Figura 3b ilustra un ejemplo de retardos en una red de comunicación de datos.

Descripción detallada

10

La expresión "sistema de energía eólica" se entiende, de acuerdo con una realización de la invención, como un sistema relacionado con la generación de energía por medio del viento. Un ejemplo preferido de un sistema de generación eólico es una planta de generación eólica WPP que comprende una pluralidad de turbinas eólicas WT y subestaciones SUB, en la que las unidades de control/supervisión están comprendidas en una turbina eólica WT o subestación SUB. Por lo tanto, de acuerdo con la invención, un elemento del sistema de generación eólica podría ser cualquier unidad relacionada con una planta de generación eólica WPP o red de compañía GD.

15

20

La expresión "procesador de datos" DP puede entenderse, de acuerdo con una realización de la invención, como cualquier disposición o elemento que se relacione con el procesamiento de datos. Un procesador de datos DP puede ser un controlador o parte de un controlador, por ejemplo en un equipo de medición para medir o supervisar por ejemplo transformadores, pararrayos, potencia, supervisión del estado de los elementos físicos del sistema de generación eólica, etc.

25

Un procesador de datos DP se entiende como una unidad que usa o que se refiere a un reloj externo o interno en el procesamiento de los datos, por ejemplo inicio de mediciones, activación de accionadores, comparación o cálculo de datos. Los ejemplos de elementos de un sistema de generación eólica que comprende uno o más procesadores de datos DP pueden ser un controlador de turbina eólica WTC, controlador superior TC, controlador de paso PIC, convertidor de potencia PC, controlador del buje HC, controlador de potencia PWC, unidad de control para transformadores, etc.

30

Un procesador de datos DP puede realizarse físicamente en un PLC (PLC: controlador de lógica programable), un DSP (DSP: procesador de señal digital), ordenador de lógica difusa, ordenador biológico, un ordenador de lógica neuronal u otro hardware de procesamiento de datos. Debería observarse que un procesador de datos DP puede entenderse también como software que depende de o es independiente del hardware cuando se procesan los datos.

35

La expresión "planta de generación eólica" WPP es una expresión que cubre los elementos necesarios para que una planta de generación eólica WPP produzca energía. Dichos elementos podrían ser, por ejemplo, turbinas eólicas WT, subestaciones SUB, unidades de control situadas interna o externamente a la planta de generación eólica WPP.

40

La expresión "turbina eólica" WT puede ser una expresión que cubre cada unidad interna o externa de la turbina eólica. Los ejemplos de dichas unidades podrían ser, por ejemplo, las unidades de medición para la medición de la velocidad del viento, vibraciones, potencia de salida, etc. o todo lo que se usa con relación a las turbinas eólicas WT tal como engranajes, generador, convertidor, mecanismos de paso, etc.

45

El término "subestación" SUB es un término que cubre todo lo incluido en una planta de generación eólica WPP excepto las turbinas eólicas WT; por lo tanto, el término subestación SUB puede cubrir unidades de control y servidores, equipo metrológico, equipo de compensación de fase, transformadores, dispositivos de almacenamiento de energía, etc.

50

El término "fluctuación" puede entenderse como la variación no deseada de una o más características de unas señales periódicas, por ejemplo, en electrónica. Fluctuación puede verse en las características tales como el intervalo entre pulsos sucesivos, o la amplitud, frecuencia o fase de ciclos sucesivos. En otras palabras la oscilación rápida puede interpretarse como una expresión relacionada con la precisión de, por ejemplo, el tiempo entre dos relojes, por ejemplo, diferencias en el tiempo en procesadores de datos del mismo dominio del tiempo. La fluctuación es un factor determinante, por ejemplo, para la simultaneidad de muestreos, mediciones o activación de accionadores por los procesadores de datos DP del mismo dominio de tiempo y para sincronización de nodos físicamente separados en una red.

55

60

La fluctuación puede medirse en un cierto número de formas, con relación al tiempo absoluto, otra señal o el reloj de salida en sí. La primera se denomina comúnmente como una fluctuación absoluta o fluctuación a largo término, la segunda es una fluctuación de seguimiento, o fluctuación de entrada a salida, cuando la otra señal es la señal de

- referencia. Si la señal de referencia es perfectamente periódica de modo que no tiene fluctuación, la fluctuación absoluta y la fluctuación de seguimiento para la señal de salida son equivalentes. La tercera medición, con relación al reloj de salida, se denomina frecuentemente fluctuación periódica, o de ciclo a ciclo. La fluctuación de ciclo a ciclo puede medirse como desviaciones variables en el tiempo en el periodo de ciclos de reloj únicos, o en el ancho de diversos ciclos de reloj (denominada como la fluctuación de ciclo a N-ésimo ciclo).
- 5 La expresión "paquete de datos" puede entenderse como bits de datos que representan información que ha de transmitirse desde un primer a un segundo nodo en una red de comunicación de datos DCN.
- 10 La Figura 1 ilustra una turbina eólica moderna WT. La turbina eólica WT comprende una torre TO situada sobre una cimentación. Se coloca una góndola NA de turbina eólica con un mecanismo de orientación sobre la parte superior de la torre TO.
- 15 Se extiende un árbol de baja velocidad fuera de la parte frontal o posterior de la góndola y se conecta con un rotor de turbina eólica a través de un buje HU de turbina eólica. El rotor de la turbina eólica comprende el menos una pala BL de rotor, por ejemplo, tres palas BL de rotor como se ilustra.
- 20 La Figura 2 ilustra una visión general de una planta de generación eólica WPP típica, de acuerdo con una realización de la invención. La planta de generación eólica WPP ilustrada comprende un cierto número de turbinas eólicas WT1-WTn situadas dentro de un área geográfica terrestre o marítima. Además, la planta de generación eólica WPP puede incluir una o más subestaciones SUB, por ejemplo estaciones metrológicas, filtros, convertidores, bancos de condensadores, etc. La planta de generación eólica WPP puede ensamblarse para constituir una unidad de producción de energía unificada total que puede conectarse a la red eléctrica.
- 25 Los elementos de la planta de generación eólica ilustrados comprenden diferentes controladores tales como un controlador de turbina eólica WTC, controlador superior TC, controlador de paso PIC, convertidor de potencia PC, controlador del buje HC, controlador de potencia PWC, unidad de control para transformadores, etc.
- 30 Una planta de generación eólica WPP tiene típicamente un controlador "maestro" o central CC. El controlador central CC puede, de acuerdo con una realización de la invención, localizarse como parte de, o en relación con, un servidor SCADA (SCADA: supervisión, control y adquisición de datos). El controlador central CC puede localizarse físicamente externo a la planta de generación eólica WPP o con relación a una subestación SUB que puede comprender un cierto número de ordenadores o unidades de procesamiento incluyendo procesadores de datos DP.
- 35 El controlador central CC puede comprender típicamente medios para controlar continuamente y supervisar el estado de la planta de generación eólica WPP, incluyendo por ejemplo las turbinas eólicas WT y subestaciones SUB. Además, el controlador central CC puede recoger datos que pueden usarse en estadísticas o análisis sobre la operación y pueden al mismo tiempo enviar/recibir datos relacionados con el control hacia y desde elementos de la planta de generación eólica WPP.
- 40 La planta de generación eólica WPP puede comunicar con unidades de control externas ECU localizadas, por ejemplo, en un operador de la red de compañía UGO. La comunicación entre el operador de la red de compañía UGO y la planta de generación eólica WPP, por ejemplo en la forma del controlador central CC, puede ser a través de una red de comunicación de datos pública PDCN tal como la Internet.
- 45 Dentro de la planta de generación eólica WPP, el controlador central CC puede conectarse a la red de comunicación de datos DCN interna que conecta las unidades de control y de supervisión de la turbina eólica WT y subestaciones SUB. La red de comunicación de datos DCN dentro de la planta de generación eólica WPP puede ser, por ejemplo, una red paralela o en serie implementada, por ejemplo, de modo inalámbrico o por medio de cables ópticos o de cobre. Preferentemente, la red de comunicación de datos DCN es una LAN (LAN: Red de Área Local) o WLAN (WLAN: Red de Área Local Inalámbrica) y/o, por ejemplo, una parte de una red de comunicación de datos pública PDCN, tal como, por ejemplo, la Internet o una intranet.
- 50 Debería mencionarse que el ecosistema de red al que también se hace referencia como red de comunicación de datos DCN del sistema de generación eólica puede ser tolerante a fallos, por ejemplo, mediante redundancia en el ecosistema de red. Dicha redundancia puede obtenerse teniendo rutas de comunicación dobles, triples o múltiples dentro del ecosistema de red.
- 55 Un ecosistema de red tolerante a fallos puede entenderse como una red de comunicación de datos DCN en la que la sincronización de los procesadores de datos DP puede obtenerse también incluso aunque la unidad de generación del reloj o un nodo tal como un procesador de datos DP en la red de comunicación de datos DCN falle.
- 60 La redundancia puede implementarse en todo el ecosistema de red del sistema de generación eólica, es decir tanto a nivel del sistema de generación eólica, por ejemplo, entre las turbinas eólicas WT, entre turbinas eólicas WT y subestaciones SUB, etc. como en el ecosistema de red dentro de los elementos del sistema individuales del sistema de generación eólica, por ejemplo entre unidades de una turbina eólica WT tal como unidades de control y
- 65

supervisión, entre unidades en una subestación SUB, etc.

Debería entenderse que la redundancia en el ecosistema de red debería entenderse también como incluyendo redundancia entre unidades comprendidas en una pluralidad de turbinas eólicas WT y subestaciones SUB.

5 Los datos relacionados con el control pueden ser típicamente datos relacionados con el control de la turbina eólica WT o subestación SUB. Los datos relacionados con el control pueden ser instrucciones para una turbina eólica WT o subestación, por ejemplo, para cambiar la potencia producida (por ejemplo, frecuencia o ángulo de fase), activar o desactivar accionadores, tomar mediciones, cambiar el paso de palas, etc.

10 La red de comunicación de datos DCN puede utilizarse también para transmitir datos de supervisión, por ejemplo dentro de una planta de generación eólica WPP entre subestaciones SUB, turbinas eólicas WT, unidades de control, etc. Además, la red de comunicación de datos DCN puede usarse para transmitir datos de supervisión a y desde el controlador central CC, si el controlador central CC no está localizado dentro de la planta de generación eólica WPP.
15 La supervisión de datos puede ser, por ejemplo una lectura de una presión, temperatura, vibraciones, velocidad del viento, producción de las turbinas eólicas WT individuales o cualquier otro dato medido dentro de una planta de generación eólica WPP. Las mediciones se pueden usar posteriormente para propósitos, por ejemplo, estadísticos, analíticos o de control.

20 La presente invención se utiliza preferentemente dentro de una planta de generación eólica WPP que comprende una pluralidad de turbinas eólicas WT y subestaciones SUB pero puede utilizarse dentro de una única turbina eólica WT o subestación SUB.

25 La figura 3a ilustra una vista general simplificada de una planta de generación eólica WPP que incluye un número de turbinas eólicas WT y subestaciones SUB en las filas A-n, interconectadas a través de una red de comunicación de datos DCN. Evidentemente, pueden estar presentes otros equipos en una planta de generación eólica WPP tal como se describe con referencia a la descripción de la figura 2. Las turbinas eólicas WT y subestación SUB ilustradas pueden comprender una pluralidad de procesadores de datos DP internos para procesamiento de los datos relacionados con la medición y control de la planta de generación eólica WPP. Al menos parte de los procesadores de datos DP se sincronizan de acuerdo con un dominio de tiempo preciso representado por un tiempo preciso que se origina desde una disposición de sincronización del tiempo TSA o disposición de sincronización del tiempo maestro MTSA. Se hace referencia al tiempo preciso como un tiempo preciso PT a todo lo largo del presente documento.

35 El tiempo preciso PT se maneja o distribuye desde la disposición de sincronización del tiempo TSA a los procesadores de datos DP de la planta de generación eólica WPP mediante un protocolo de tiempo preciso tal como el IEEE-1588. El protocolo de tiempo de precisión usado para distribuir el tiempo preciso PT asegura que el dominio del tiempo en cada una de las turbinas eólicas WT y subestaciones SUB es tan preciso como el tiempo preciso PT. En otras palabras los procesadores de datos DP son capaces de sincronizar su reloj interno / cuentas internas con el tiempo preciso PT del dominio del tiempo.
40

Alternativamente, la disposición de sincronización del tiempo TSA o disposición de sincronización del tiempo maestro MTSA pueden comprender una agrupación de unidades de generación de reloj a partir de las que se origina el tiempo preciso PT y a partir de las que se distribuye el tiempo preciso PT a los procesadores de datos DP relevantes a través de la red de comunicación de datos DCN. De acuerdo con esta forma alternativa de crear el tiempo preciso PT o en combinación con el uso de un protocolo de tiempo preciso, como se ha descrito anteriormente, los procesadores de datos DP relevantes son capaces de sincronizar su reloj interno / cuentas internas con el tiempo preciso PT.
45

50 Como se ha descrito anteriormente el uso de una agrupación de unidades de generación de reloj introduce o incrementa la tolerancia a fallos del tiempo preciso PT en el ecosistema de la red. En esta forma la precisión del tiempo preciso PT se mantiene, por ejemplo, en una situación en la que falle una unidad de generación de reloj (también denominada como reloj C). En dichas situaciones, los procesadores de datos DP relevantes pueden continuar sincronizando su señal de reloj interno / cuentas internas con el tiempo preciso PT.
55

El resultado de tener un tiempo preciso PT tolerante a fallos en combinación con una red de comunicación de datos DCN tolerante a fallos como se ha descrito anteriormente, es un ecosistema de la red de un sistema de energía eólica que comprende procesadores de datos síncronos incluso en situaciones en las que una unidad de generación de reloj o un nodo en el sistema de comunicación de datos falla.
60

Dicho esto, debería mencionarse que para aplicar o incrementar la tolerancia a fallos de la señal de referencia o tiempo preciso PT dentro del ecosistema de la red puede construirse ventajosamente una agrupación de unidades de generación de reloj o relojes C. El efecto de tener una agrupación de unidades de generación de reloj es que si una de las unidades de generación de reloj de dicha agrupación falla, siempre hay una unidad de generación de reloj adicional en la agrupación para asegurar un tiempo de referencia en el ecosistema de la red.
65

Debería observarse que el dominio de tiempo preciso no tiene que ser distribuido a todas las turbinas eólicas WT o subestaciones SUB y que, por ejemplo, los procesadores de datos DP del sistema de generación eólica pueden contribuir con fluctuaciones de modo que el dominio del tiempo en, por ejemplo, una turbina eólica WT puede no ser completamente idéntico al dominio del tiempo representado por el tiempo preciso PT.

5 Además, debería observarse que puede usarse una pluralidad de normas o protocolos para comunicar un tiempo preciso PT a elementos de una planta de generación eólica WPP y que incluso puede ser posible desarrollar un nuevo protocolo para este propósito específico. Junto al ya mencionado IEEE-1588, puede ser ventajoso usar otros
10 protocolos de tiempo preciso o desarrollo base de un nuevo protocolo de sincronización de tiempo sobre otros protocolos distintos al IEEE-1588. Dichos protocolos podrían incluir, por ejemplo, el IEEE-1588 con extensiones de protocolo inalámbricas, NTP (NTP; Protocolo de tiempo de red), SNTP (SNTP; Protocolo de tiempo de red simple), etc., dependiendo de la red.

15 Además, debería mencionarse que muchos protocolos de LAN industrial en tiempo real podrían estar soportados por un tiempo de precisión tal como por ejemplo POWERLINK™, EtherCAT™, ProfiNET™, etc. Además, debería mencionarse que una generación y distribución de reloj tolerante a fallos puede estar soportada por protocolos de LAN industrial en tiempo real tales como TTEthernet (TTEthernet; Ethernet activada por tiempo). Debería observarse que algunos de los protocolos o normas anteriormente mencionados son propietarios.

20 Se ilustra una disposición de sincronización del tiempo TSA en la planta de generación eólica WPP de la figura 3a en la que los procesadores de datos DP de las turbinas eólicas WT y subestaciones SUB pueden conectarse a la disposición de sincronización del tiempo TSA a través de una red de comunicación de datos DCN. La disposición de sincronización del tiempo TSA comprende al menos un reloj C a partir del que se origina el al menos un tiempo
25 preciso PT. El reloj interno de al menos parte de los procesadores de datos DP de la planta de generación eólica WPP se sincroniza con este tiempo de precisión PT y de ese modo se crea al menos un dominio de tiempo de precisión global dentro de la planta de generación eólica.

Debería observarse que los elementos fuera de la planta de generación eólica WPP pueden tener también acceso al tiempo preciso y de ese modo al dominio de tiempo de precisión global.

30 De acuerdo con la invención, al menos dos disposiciones de sincronización del tiempo TSA o una disposición de sincronización del tiempo TSA y una disposición de sincronización del tiempo maestro MTSA están presentes en relación con la planta de turbinas eólicas WPP. Esta redundancia es una medida de seguridad si ocurre un defecto en una de las disposiciones de sincronización. Durante la operación normal, se asigna un reloj C en una disposición
35 de sincronización del tiempo TSA/MTSA como "reloj maestro", por lo tanto, todos los otros relojes C y procesadores de datos DP se refieren a este tiempo preciso PT que se origina a partir de este "reloj maestro".

40 En caso de que las disposiciones de sincronización del tiempo TSA comprendan más de una unidad de generación de reloj CU estas unidades de generación de reloj CU pueden formar una o más agrupaciones de unidades de generación de reloj CU dentro de las disposiciones de sincronización del tiempo TSA. Por lo tanto dicha disposición de sincronización del tiempo TSA se convierte en tolerante a fallos porque si un circuito de generación de reloj CGC falla, otro circuito de generación de reloj CGC de la agrupación asegura la funcionalidad de la disposición de sincronización del tiempo TSA.

45 Adicionalmente, cuando dichas disposiciones de sincronización del tiempo TSA tolerantes a fallos se conectan en una red de comunicación de datos DCN dicha red se convierte en tolerante a fallos, es decir las disposiciones de sincronización del tiempo TSA forman entonces un ecosistema de red tolerante a fallos. En dicho ecosistema de la red la pluralidad de disposiciones de sincronización del tiempo TSA que comprenden agrupaciones de unidades de generación de reloj CU se compensan entre sí en caso de fallo en una unidad de sincronización del tiempo TSA,
50 asegurando de ese modo que las disposiciones de sincronización del tiempo TSA siempre tienen capacidad para crear y distribuir un tiempo preciso PT.

El mismo principio de redundancia se encuentra preferentemente en la distribución del tiempo preciso PT en la red de comunicación de datos DCN. Debido a que es importante para los procesadores de datos DP recibir el tiempo
55 preciso PT, puede realizarse una redundancia tal como, por ejemplo, retransmisión del tiempo preciso PT para asegurar que el tiempo preciso PT alcanza a los procesadores de datos DP que esperan el tiempo preciso PT. En el caso de que el tiempo preciso PT no logre alcanzar a procesadores de datos DP, esto puede afectar a todo el rendimiento de la planta de generación eólica.

60 La redundancia en la red de comunicación de datos DCN puede establecerse también en la forma de una red de comunicación de datos adicional, por lo que en caso de que tenga lugar un fallo tal como, por ejemplo, un cable roto o un conmutador de red defectuoso en la red de comunicación de datos DCN, el tiempo preciso PT se transmite a los procesadores de datos DP a través de la red de comunicación de datos adicional. Dicha red de comunicación de datos adicional podría ser, por ejemplo, una red inalámbrica, óptica o cableada.

65

5 Durante la operación en una configuración maestro/esclavo se asigna un reloj C en una disposición de sincronización del tiempo TSA/MTSA como "reloj maestro", por lo tanto, todos los otros relojes C y procesadores de datos DP se refieren a este tiempo preciso PT que se origina a partir de este "reloj maestro". Si falla el "reloj maestro", un reloj C de una de las otras disposiciones de sincronización del tiempo TSA asume el cargo y produce el tiempo preciso PT. Cuál de las disposiciones de sincronización del tiempo adicional TSA asume el cargo, puede determinarse por adelantado dependiendo del sistema y sucede preferentemente sin degradación del tiempo global de precisión amplio del sistema establecido.

10 Durante la operación en una configuración de maestros múltiples dos o más disposiciones de sincronización del tiempo TSA pueden formar un ecosistema de red en la red de comunicación de datos DCN generando el tiempo preciso PT en cooperación mutua. Dichas disposiciones de sincronización del tiempo TSA pueden comprender agrupaciones de unidades de generación de reloj. Si una disposición de sincronización del tiempo TSA falla, por ejemplo, si una unidad de generación de reloj falla, las restantes disposiciones de sincronización del tiempo TSA en el ecosistema continúan generando el tiempo preciso PT asegurando así una perfecta generación del tiempo preciso PT en escenarios de fallo simple o múltiple.

20 Debería observarse que el tiempo preciso PT puede recibirse centralmente en, por ejemplo, una turbina eólica WT y a continuación a través de la LAN interna de la turbina eólica WT distribuirse a los procesadores de datos DP de la turbina eólica WT.

25 La disposición de sincronización del tiempo TSA puede implementarse en software o hardware en la planta de generación eólica WPP, por ejemplo, como parte del controlador central CC o como una unidad independiente. La disposición de sincronización del tiempo TSA comunica continuamente mediante, por ejemplo, la distribución/difusión de un tiempo preciso PT a al menos parte de los procesadores de datos DP dentro de la planta de generación eólica WPP. El tiempo preciso PT puede distribuirse a través de las redes de comunicación de datos DCN y métodos como se han descrito anteriormente.

30 Como se ha descrito, el tiempo preciso PT crea un dominio del tiempo al que al menos una parte de los procesadores de datos DP distribuidos, por ejemplo, en subestaciones SUB y turbinas eólicas WT de la planta de generación eólica WPP hacen referencia. La señal de reloj dentro de estos procesadores de datos DP está en referencia al tiempo preciso PT de la disposición de sincronización del tiempo TSA. El dominio del tiempo o señal de reloj de estos procesadores de datos se convierte de ese modo en síncrona con la señal de tiempo preciso PT, con una precisión que refleja la precisión del tiempo preciso PT. Por lo tanto, un evento que tenga lugar al mismo tiempo en diferentes turbinas eólicas WT puede registrarse en las turbinas eólicas WT respectivas con una marcación de tiempo preciso que refleje la precisión de la señal de tiempo de precisión PT.

35 Debería observarse que más de un dominio de tiempo síncrono puede referirse a la misma señal de tiempo de precisión PT.

40 Cada turbina eólica WT y subestación SUB puede incluir diversos procesadores de datos DP como se ilustra en la fig. 3a y puede elegirse una parte deseada de estos procesadores de datos DP para estar sincronizados. Cuando se sincroniza el número deseado de procesadores de datos DP de la planta de generación eólica WPP, es decir que tienen un entandimiento común de la precisión en el tiempo preciso PT, es posible realizar un control y análisis muy preciso y fiable, por ejemplo, comparación de eventos específicos o efectos de eventos que tienen lugar en el sistema de generación eólica.

50 Debería observarse que la disposición de sincronización del tiempo TSA puede situarse externamente respecto a la planta de generación eólica WPP. Dicha disposición de sincronización del tiempo TSA localizada externamente puede comunicar con elementos de la planta de generación eólica WPP a través de, por ejemplo, una red de comunicación de datos inalámbrica WDCN, sistema de satélites terrestres tales como un GPS, o preferentemente a través de una red de comunicación de datos por cable/fibra de datos existente.

55 Dentro de una turbina eólica WT, cuando se recibe una señal inalámbrica tal como el tiempo preciso PT, por ejemplo en la forma de una señal GPS, puede distribuirse a través de la LAN interna de la turbina eólica WT.

El tiempo preciso PT de la disposición de sincronización TSA puede ser independiente de las señales de tiempo interno existentes de la planta de generación eólica WPP y de ese modo el tiempo preciso PT se convierte en una señal de referencia.

60 Debería observarse que puede no ser relevante sincronizar todos los procesadores de datos DP de, por ejemplo, una turbina eólica WT o subestación SUB. Adicionalmente debería observarse que los procesadores de datos DP se distribuyen dentro de elementos del sistema de generación eólica (también denominados como elementos del sistema) de modo que un elemento del sistema puede comprender una pluralidad de procesadores de datos mientras que otro elemento del sistema comprende solamente unos pocos procesadores de datos o incluso ninguno en absoluto.

65

Como se ha descrito anteriormente el tiempo preciso PT se distribuye a los elementos de la planta de generación eólica WPP y además de ello los datos de control y medición también se distribuyen sobre la red de comunicación de datos DCN.

5 La red de comunicación de datos DCN enlaza los elementos de la planta de generación eólica WPP conjuntamente permitiendo la comunicación de datos entre los elementos. El enlace puede ser inalámbrico, cables, fibras ópticas, etc. y puede comprender una pluralidad de nodos A-Nn como se ilustra en la figura 3a.

10 La figura 3b ilustra parte de la red de comunicación de datos DCN descrita anteriormente e ilustra algunos de los retardos, que retardan un paquete de datos PAC en la red de comunicación de datos DCN. Estos retardos pueden incluir un retardo de procesamiento PRD, un retardo de colas QD, retardo de propagación PPD, etc. y una suma de los retardos mencionados que forman la mayoría del retardo que un paquete de datos PAC experimenta a partir del tiempo en que se envía a cuando se recibe. Debería observarse que en relación con el comienzo de la transmisión y recepción de un paquete de datos PAC, pueden tener lugar retardos adicionales. Una suma de los retardos es típicamente del orden de milisegundos o menos.

15 El retardo de procesamiento PRD define el tiempo usado para, por ejemplo, examinar la cabecera del paquete de datos PAC para determinar a dónde dirigir el paquete de datos PAC, comprobar el paquete de datos PAC respecto a errores, etc.

20 El retardo de cola QD tiene lugar cuando, por ejemplo, un paquete de datos PAC está esperando en un nodo a ser transmitido adicionalmente a través de la red. El retardo de cola QD depende de la congestión de la red, por lo tanto, si una pluralidad de paquetes de datos PAC ha llegado a y está esperando en, por ejemplo, un nodo, el retardo de cola QD para la llegada del siguiente paquete de datos PAC al nodo puede ser grande. Por otra parte, si no hay paquetes de datos PAC esperando en el nodo, no habrá ningún retardo de cola QD para el siguiente paquete de datos PAC.

25 El retardo de propagación PPD define el tiempo requerido para que un paquete de datos PAC / bit se propague, por ejemplo, desde un nodo al siguiente nodo en el enlace / en la red; por lo tanto, cuanto mayor es la distancia física entre un primer y un segundo nodos, mayor es el retardo de propagación PPD en la transmisión de datos desde el primer al segundo nodo. Naturalmente, el retardo de propagación PPD también depende del tipo de red, por ejemplo, cables, inalámbrico, fibras, etc.

30 Como se ha indicado anteriormente pueden tener lugar diferentes retardos en una red de comunicación de datos DCN y la duración de estos retardos depende de, por ejemplo, el tipo de red, congestión de la red, tamaño del paquete de datos PAC, etc. por lo tanto, si no se toman condiciones previas, puede ser muy difícil predecir el retardo en la red de comunicación de datos DCN por adelantado.

35 Sin embargo algunos protocolos de red se basan en la división en el tiempo de la transmisión de datos (por ejemplo TDMA: protocolos de Acceso múltiple por división de tiempo) que solo permiten a los nodos enviar datos en ranuras de tiempo predeterminadas. Esta clase de redes no tienen congestión en los conmutadores de red, y solo un pequeño retardo de procesamiento en el nodo, si hay alguno, debido a los mecanismos de planificación. Estos protocolos de red pueden ser altamente deterministas, permitiendo así cálculos muy fiables del tiempo de transmisión del peor caso.

40 Otros tipos de red se basan en protocolos maestro-esclavo que impiden también que más de un nodo transmita datos a la vez (por ejemplo POWERLINK Ethernet y EtherCAT), que también pueden resolver el problema con congestión en la red. También estos tipos de redes son altamente deterministas y permiten cálculos muy fiables sobre los tiempos de transmisión en el peor caso. Ambos tipos mencionados de redes también se usan frecuentemente en sistemas de tiempo real fuerte.

45 Debido a la naturaleza dinámica del tamaño del retardo total en la red de comunicación de datos DCN, puede ser crítico depender del hecho de que un paquete de datos PAC alcance su destino dentro de un tiempo dado. Por lo tanto, es muy difícil predecir el tiempo exacto de llegada de una señal de control crítica en una unidad de control.

50 Por lo tanto, de acuerdo con la presente invención, para optimizar el control de un sistema de generación eólica, es necesario el conocimiento del tiempo de transmisión máximo en la red de comunicación de datos DCN. El retardo máximo en la red de comunicación de datos DCN puede estimarse o definirse, por ejemplo, mediante el uso de uno de los siguientes métodos.

55 Un método de estimación para estimar el tiempo de transmisión en una red para control en tiempo real fuerte de una planta de generación eólica WPP, turbina eólica WT o subestación SUB es calcular un tiempo de transmisión del peor caso basándose en el conocimiento detallado de la topología y función de la red, combinados con un protocolo determinista. En una red para control en tiempo real fuerte, es improbable que la red sea dinámica, por ejemplo, debido al uso de un protocolo de tiempo determinista.

En configuraciones de red dinámicas se prefiere uno de los siguientes métodos de ensayo/estimación del tiempo de transmisión, debido a la naturaleza dinámica las configuraciones de red dinámicas requerirán frecuentes mediciones de los tiempos de transmisión en la red de comunicación de datos.

5 El tiempo de transmisión máximo en la red de comunicación de datos DCN puede hallarse mediante el ensayo de la red de comunicación de datos. El controlador central CC de una planta de generación eólica WPP puede enviar señales de ensayo o "ping" a los controladores de, por ejemplo, subestaciones SUB y turbinas eólicas WT. Los controladores de las subestaciones SUB y turbinas eólicas WT "responderán" entonces a la señal de ensayo y de ese modo es posible para el controlador central CC calcular el tiempo de transmisión máximo en la red de comunicación de datos DCN.

15 En una realización más avanzada, el controlador central CC o parte del controlador central CC puede hacer seguimiento de la congestión de la red de comunicación de datos DCN y tener en cuenta la congestión junto con la respuesta a la señal de ensayo. Esto podría ser necesario si la señal de ensayo se distribuye cuando no hay congestión en la red de comunicación de datos DCN.

20 La señal de ensayo puede, de acuerdo con una realización de la invención, incluirse en un paquete de datos PAC en la forma de un bit, por ejemplo, en la cabecera o una marcación de tiempos cuando la parte receptora reconoce el bit o marcación de tiempos y responde en consecuencia.

25 El retardo de propagación PPD y otros retardos en la red de comunicación de datos DCN pueden extraerse del protocolo de tiempo de precisión, por ejemplo, el IEEE-1588 responsable de la señal de referencia global. Sin embargo, dicho protocolo de tiempo de precisión no proporcionará datos sobre los retardos de procesamiento de los nodos consumidores o receptores, por ello esto último debe hallarse en otra forma.

Dicho ensayo de la red de comunicación de datos DCN se realiza preferentemente de modo continuo de modo que el controlador central CC se actualice con el estado actual sobre el tiempo de transmisión máximo en la red de comunicación de datos DCN.

30 El tiempo de transmisión máximo en la red de comunicación de datos DCN puede hallarse también mediante el uso de datos históricos de retardos en la red. Mediante el análisis de los datos históricos sobre retardos en la red, puede ser posible representar el tiempo de transmisión máximo en diferentes situaciones y basándose en ello elegir un tiempo de transmisión máximo. En esta forma es posible elegir un tiempo de transmisión máximo dentro del intervalo definido por los datos históricos. Cuando se elige el tiempo de transmisión máximo es posible ser optimista y elegir valores bajos con relación a los datos históricos o pesimistas y elegir un valor alto con relación a los datos históricos.

40 El tiempo de transmisión máximo en la red de comunicación de datos DCN puede determinarse mediante el uso de una segunda red de comunicación para parte de la comunicación de datos. En la segunda red los retardos pueden conocerse o calcularse debido a que la segunda red solo se usa para la transmisión de una cantidad conocida de paquetes de datos.

45 El tiempo de transmisión máximo en la red de comunicación de datos DCN puede determinarse equipando los paquetes de datos con prioridad de modo que los paquetes de datos de alta prioridad se exponen a menos retardos a través de la red. En esta forma los paquetes de datos de alta prioridad pueden exponerse solamente a retardos conocidos y de ese modo se hace posible calcular el tiempo de transmisión máximo.

Debería observarse que pueden combinarse todas o algunas de las formas anteriores de identificar el tiempo de transmisión máximo dependiendo de la red.

50 Al obtener un dominio de tiempo síncrono con el que se sincroniza una pluralidad de procesadores de datos DP y obtener conocimiento del tiempo de transmisión máximo para paquetes de datos PAC transmitidos a través de una red de comunicación de datos DCN se identifican dos parámetros dependientes, en otra forma desconocidos, del sistema en la comunicación de datos en un sistema de energía eólica.

55 En primer lugar, la precisión en el dominio del tiempo es conocida debido a que el tiempo preciso PT es conocido como se ha descrito anteriormente. En segundo lugar, el tiempo de transmisión máximo de la transmisión de datos entre nodos en la red de comunicación de datos DCN es conocido. Esto permite a los diseñadores de sistemas de control (es decir supervisión del estado, medición, control, etc.) para sistemas de energía eólica desarrollar estrategias de control para diferentes situaciones y verificar/corregir estas estrategias mediante simulaciones antes de poner en operación la turbina eólica WT o planta de generación eólica WPP.

Estas estrategias pueden utilizarse, por ejemplo, durante la implementación de una planta de generación eólica WPP o en situaciones tales como se describen a continuación.

65 Cuando las turbinas eólicas WT, subestación SUB o planta de generación eólica WPP son operativas pueden controlarse basándose en el dominio de tiempo preciso y conocimiento del tiempo de transmisión máximo. Esto es

especialmente relevante con relación al control de la salida de potencia desde una turbina eólica WT, subestación SUB o planta de generación eólica WPP, soporte de la red de compañía en caso de fallo en la red, localización del fallo y distribución dentro de la turbina eólica WT, subestación SUB o planta de generación eólica WPP, control amplio del parque tal como arranque, parada y supervisión del estado, etc.

5 Si sucede un fallo en la red, los operadores de red GD desearían usar las plantas de generación eólica WPP para dar soporte a la red tanto como sea posible. A través del conocimiento de dos de los parámetros dependientes del sistema descritos anteriormente se hace posible optimizar la capacidad de las plantas de generación eólica WPP para dar soporte a la red durante fallos de la red.

10 Puede ser posible, antes de que tenga lugar el fallo, por ejemplo, durante la implementación, mapear la planta de generación eólica WPP y de ese modo predecir cuál de las turbinas eólicas WT es capaz de reaccionar de modo suficientemente rápido y preciso para dar soporte a la red. En este mapeado, un factor importante es la localización geográfica de las turbinas eólicas WT dentro de la planta de generación eólica WPP, con relación al punto de conexión común PCC. La localización determina el tiempo de transmisión máximo en el enlace de comunicación a la turbina eólica WT y de ese modo determinar si la turbina eólica WT es capaz o no de reaccionar suficientemente rápido para dar soporte a la red. Además, la precisión en el dominio del tiempo es importante. La precisión se determina por la capacidad para controlar las turbinas eólicas WT individuales de modo que el cambio total en la salida desde la planta de generación eólica WPP sea más efectivo, por ejemplo, en relación con el soporte de la red y emisión de ruido en la red desde la planta de generación eólica.

25 En otras palabras, de acuerdo con la presente invención, debido al conocimiento de dos de los parámetros del sistema anteriormente descritos, se hace posible transmitir paquetes de datos PAC que comprenden instrucciones de control para ser llevadas a cabo en un instante de tiempo dado, a una pluralidad de turbinas eólicas WT. Mediante el conocimiento del tiempo de transmisión máximo en la red de comunicación datos DCN es posible que el controlador central CC prediga cuál de las turbinas eólicas WT es capaz de reaccionar ante señales de control de los paquetes de datos PAC a tiempo para dar soporte a la red.

30 Un ejemplo de contenido del paquete de datos PAC podría ser puntos de consigna con relación a la salida de la turbina eólica WT, por ejemplo, del ángulo de fase, altitud, frecuencia, etc., y un instante de tiempo para cambiar la salida para cumplir con estos puntos de consigna. El controlador central CC puede enviar estos paquetes de datos de control PAC a todas las turbinas eólicas que sean capaces de reaccionar a tiempo y debido a que los procesadores de datos DP de las turbinas eólicas están sincronizados con el dominio de tiempo preciso, puede cambiarse la salida de las turbinas eólicas con precisión de acuerdo con las instrucciones. De ese modo el controlador central puede controlar la salida total de la planta de generación eólica WPP y conformar la salida de la planta de generación eólica WPP para dar soporte a la red.

40 Un efecto adicional del método de control descrito anteriormente es que el operador de la red GD es capaz de predecir cuánto soporte puede esperarse de una planta de generación eólica WPP en diferentes situaciones. El soporte puede estar, por ejemplo, en la forma de variaciones en la potencia producida (es decir, potencia reactiva, tensión, ángulo de potencia, armónicos, etc.). Además, las estrategias de control amplio del parque pueden determinarse por adelantado e iniciarse cuando se registra el fallo.

45 En una realización adicional de la invención, se usa el conocimiento de los dos parámetros dependientes del sistema con relación a la supervisión del estado. Debido al dominio del tiempo síncrono preciso en el que una pluralidad de procesadores de datos puede referirse a mediciones en una pluralidad de turbinas eólicas WT, pueden hacerse síncronos. Dichas mediciones podrían ser sobre la velocidad del viento o flexión de las palas BL de la turbina eólica de la primera fila de turbinas eólicas WT de una planta de generación eólica WPP o la velocidad del viento en el frente de la planta de generación eólica WPP, medido, por ejemplo, por Lidars o subestaciones SUB metrológicas. 50 En caso de aparición de una ráfaga de viento, es posible que el controlador central CC represente la distribución o efecto de la ráfaga de viento sobre las turbinas eólicas WT en las filas sucesivas debido a que las mediciones se han convertido en síncronas.

55 Además, el controlador central CC puede usar las mediciones directamente sin perder tiempo en interpretar y analizar las mediciones relativamente entre ellas en el dominio del tiempo. Debido a que el tiempo de transmisión máximo en la red de comunicación de datos DCN es conocido por el controlador central CC, es posible predecir cuál de las filas sucesivas de las turbinas eólicas WT será capaz de reaccionar a tiempo antes de que la ráfaga de viento llegue a estas turbinas eólicas WT. Los paquetes de datos PAC que comprenden instrucciones de control para, por ejemplo, cambiar el paso de las palas BL se envían a estas turbinas eólicas WT y de ese modo es posible minimizar la tensión mecánica sobre la turbina eólica WT. Este método de control amplio del parque inteligente se minimiza por 60 la congestión de la red de comunicación de datos DCN debido a que los paquetes de datos PAC no se difunden a todas las turbinas eólicas de la planta de generación eólica WPP sino solo a las turbinas eólicas que son capaces de reaccionar a tiempo sobre el contenido de los paquetes de datos PAC.

65 Otra ventaja obtenida por la identificación de los dos parámetros dependientes del sistema de acuerdo con la invención es que se hace posible definir el retardo posible más bajo a través de la red de comunicación de datos de

- la planta de generación eólica WPP. Esto, junto con el dominio de tiempo síncrono y preciso, da información del rendimiento actual de la red de comunicación de datos DCN al controlador central CC. Esta información puede usarse para mapear, por ejemplo, un parque de energía eólica WPP en uno o más marcos de tiempo en los que las turbinas eólicas WT o subestaciones SUB se sitúan en un marco de tiempo dependiendo del tiempo de transmisión
- 5 máximo en la comunicación desde el controlador central CC, por ejemplo combinado con el conocimiento de cuál de los procesadores de datos DP de la turbina eólica WT o subestación SUB está sincronizado con el dominio de tiempo preciso.
- Esta información puede usarse, por ejemplo, a continuación en el control de congestión de la red de comunicación de datos DCN. El controlador central CC conoce el tiempo de transmisión máximo desde el controlador central CC a una turbina eólica WT. Además, el controlador central CC conoce que cuando, por ejemplo, una señal de control es recibida por el controlador de la turbina eólica WTC, la señal de control se ejecuta en el momento en que el controlador central CC espera que la señal de control se ejecute debido al dominio de tiempo sincronizado preciso.
- 10 Por lo tanto, debido a que el controlador central CC tiene la información descrita anteriormente, el controlador central CC puede en caso de que la red de comunicación de datos DCN esté sobrecargada, poner en cola los datos para esta turbina eólica WT y esperar al "último minuto" para impulsar la señal de control sobre la red de comunicación de datos DCN.
- 15 Un ejemplo de señales de control amplio del parque que pueden ponerse en cola podría ser, en caso de congestión de la red de comunicación de datos DCN, por ejemplo, señales para el arranque o parada controlados de una planta de generación eólica WPP.
- 20 El conocimiento de los dos parámetros dependientes del sistema de un sistema de generación eólica puede usarse también, de acuerdo con la invención, en el análisis de la red de comunicación de datos. Si el tiempo para transmisión de un paquete de datos PAC excede un tiempo de transmisión máximo predefinido, esto indica que algo está mal en la red de comunicación de datos DCN, por ejemplo un fallo en un conmutador o cable. La localización de un fallo en la red de comunicación de datos DCN en esta forma puede ser más rápida que la espera a un "tiempo de expiración" o solicitud de retransmisión del paquete de datos PAC.
- 25 Además, el conocimiento de los dos parámetros dependientes del sistema de un sistema de generación eólica puede ser valioso también de acuerdo con la invención con relación a la medición y control basado en dichas mediciones.
- 30 Debido al dominio de tiempo preciso, es posible iniciar mediciones amplias del parque simultáneas continuas, por ejemplo, la distribución de una ráfaga de viento. El resultado de estas mediciones puede conducir a una necesidad de regulación de diferentes elementos de una turbina eólica WT. Si la producción de energía se optimiza o se minimiza la carga mecánica de la turbina eólica WT mediante la ejecución de las señales de control en un instante de tiempo preciso, esto puede realizarse por el controlador central CC, debido al conocimiento de los dos parámetros específicos del sistema.
- 35 De la misma manera si se prefiere medir en un instante de tiempo preciso, el conocimiento de los dos parámetros específicos del sistema haría esto posible mediante el envío de un paquete de datos a tiempo antes de que se desee la medición. Dichas mediciones pueden usarse únicamente para análisis del sistema de generación eólica.
- 40 Con relación a la descripción anterior de la invención debería observarse que cuanto más preciso es un dominio de tiempo, más formas diferentes hay de utilizar la invención.
- 45 Basándose en lo anterior, la presente invención puede usarse para organizar el tráfico de datos, con una vista en minimizar la congestión de la red de comunicación de datos DCN en situaciones en las que la red de comunicación de datos DCN está fuertemente cargada.
- 50 De acuerdo con lo anterior, la presente invención puede utilizarse para el escenario de medición siguiente. Se diseña o da instrucciones a un nodo para medir repetidamente, por ejemplo, la temperatura o vibraciones con referencia al tiempo preciso PT. El punto en el tiempo de la realización de estas mediciones repetitivamente se determina de acuerdo con la estimación del tiempo de transmisión desde el nodo de medición (producción) al nodo de recepción (consumidor) que ha de usar las mediciones.
- 55 De acuerdo con la invención las realizaciones descritas con relación a las figuras ilustradas en las figuras 1-3B pueden combinarse en cualquier combinación.
- 60

REIVINDICACIONES

1. Método de control de un sistema de generación eólica que comprende una pluralidad de elementos del sistema, incluyendo adicionalmente dicho sistema de energía eólica una pluralidad de procesadores de datos (WTC; TC; PIC; PC; HC) distribuidos en dichos elementos del sistema, comprendiendo los elementos del sistema nodos entre los que se transmiten datos, comprendiendo los elementos del sistema al menos un nodo de producción y una pluralidad de nodos remotos, siendo los nodos remotos receptores de instrucciones desde un nodo de producción, comprendiendo el método las etapas de:
- 5
- 10 sincronizar al menos una parte de dichos procesadores de datos con al menos una señal de referencia distribuida a dicha parte de dichos procesadores de datos desde una disposición de sincronización de tiempo (TSA),
asociar al menos uno de dichos procesadores de datos sincronizados con un nodo de producción y asociar al menos uno de dichos procesadores de datos con nodos remotos,
- 15 establecer estimaciones del tiempo de transmisión entre dicho nodo de producción y una pluralidad de dichos nodos remotos,
establecer una señal de control armada que comprende una instrucción de ejecución asociada con un tiempo de ejecución, definiendo la instrucción de ejecución instrucciones a ser ejecutadas por un procesador de datos asociado con un nodo remoto en un tiempo definido por el tiempo de ejecución,
- 20 correlacionar las estimaciones del tiempo de transmisión establecidas entre el nodo de producción y los nodos remotos con el tiempo de ejecución de la señal de control armada mediante la comparación de las estimaciones del tiempo de transmisión establecidas con el tiempo de ejecución,
- caracterizado por que el método comprende además las etapas de:
- 25 identificar, basándose en la correlación, partes de bajo retardo de los nodos remotos con estimaciones del tiempo de transmisión que permitan la ejecución de la instrucción de ejecución en el tiempo de ejecución,
transmitir la señal de control armada desde el nodo de producción a las partes de bajo retardo de los nodos remotos previamente al tiempo de ejecución en un intervalo de tiempo que corresponde a, o es mayor que, la estimación del tiempo de transmisión establecida de las partes de bajo retardo.
- 30
2. Método de control de un sistema de generación eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en el que dicha estimación del tiempo de transmisión se establece sobre la base de una pluralidad de representaciones de retardo de transmisión y procesamiento.
- 35
3. Método de control de un sistema de generación eólica de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que dicha señal de control armada comprende una instrucción para realizar una medición y en el que dicha transmisión de dicha señal de control armada desde dicho nodo de producción a dichas partes de bajo retardo de los nodos remotos se realiza previamente a un tiempo en el que se necesita un resultado de la medición por dicho nodo mediante un intervalo de tiempo que corresponde a, o es mayor que, dos veces la estimación del tiempo de transmisión establecida más un tiempo de medición.
- 40
4. Método de control de un sistema de generación eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que dichos procesadores de datos (WTC; TC; PIC; PC; HC) son parte de un controlador de turbina eólica, controlador de subestación o un controlador central de una planta de generación eólica (WPP).
- 45
5. Método de control de un sistema de generación eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en el que las partes de bajo retardo de los nodos remotos se utilizan para un control de alta precisión del control aerodinámico de las palas de las turbinas eólicas del sistema de energía eólica.
- 50
6. Método de control de un sistema de generación eólica de acuerdo con la reivindicación 1, en el que las partes de bajo retardo de los nodos remotos se utilizan para un control de alta precisión de los convertidores de potencia de turbinas eólicas o subestaciones del sistema de energía eólica.
- 55
7. Método de control de un sistema de generación eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que se asocia un atributo de transmisión, por ejemplo un atributo de prioridad o un atributo de calidad, con dichas señales de control armadas, y en el que dicho establecimiento de estimaciones del tiempo de transmisión entre dicho nodo de producción y dichos nodos remotos comprende el establecimiento de estimaciones del tiempo de transmisión para diferentes valores de dicho atributo de transmisión.
- 60
8. Método de control de un sistema de generación eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en el que dicho control de dicho sistema de generación eólica comprende la ejecución de un algoritmo de predicción o un algoritmo de simulación para predecir actos de control que pueden ser significativos para llevar a cabo en un futuro, y en el que se determina un período de tiempo de predicción al menos parcialmente sobre la base de dicha estimación del tiempo de transmisión establecido.
- 65

9. Método de control de un sistema de generación eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-8, en el que un tiempo representado por dicha señal de referencia es preciso hasta el microsegundo más próximo.
- 5 10. Método de control de un sistema de generación eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-9, en el que dicho control de dicho sistema de generación eólica comprende la ejecución de una instrucción de ejecución síncrona en al menos dos nodos remotos.
- 10 11. Método de control de un sistema de generación eólica de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-10, en el que dicha señal de referencia que se genera por una o más unidades de generación de reloj comprendidas por dicha disposición de sincronización del tiempo, y en el que dicha disposición de sincronización del tiempo forma de ese modo una red de comunicación de datos tolerante a fallos.
- 15 12. Un sistema de energía eólica que comprende una pluralidad de elementos del sistema, incluyendo adicionalmente dicho sistema de energía eólica una pluralidad de procesadores de datos (WTC; TC; PIC; PC; HC) distribuidos en dichos elementos del sistema, comprendiendo los elementos del sistema nodos entre los que se transmiten datos, comprendiendo los elementos del sistema al menos un nodo de producción y una pluralidad de nodos remotos, siendo los nodos remotos receptores de instrucciones desde un nodo de producción, estando dispuesto el sistema de generación eólica para llevar a cabo el método de cualquiera de las reivindicaciones 1-11.

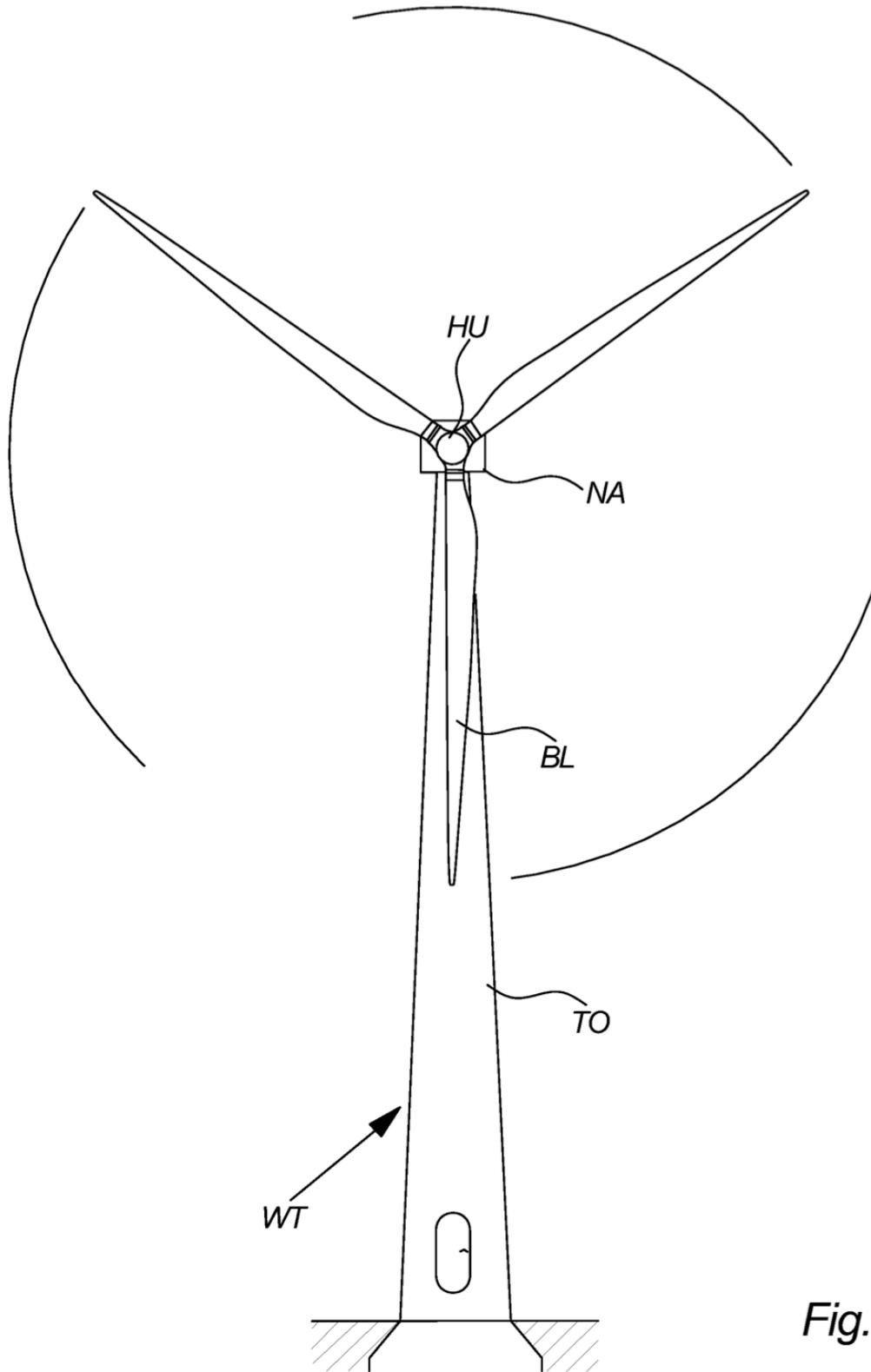


Fig. 1

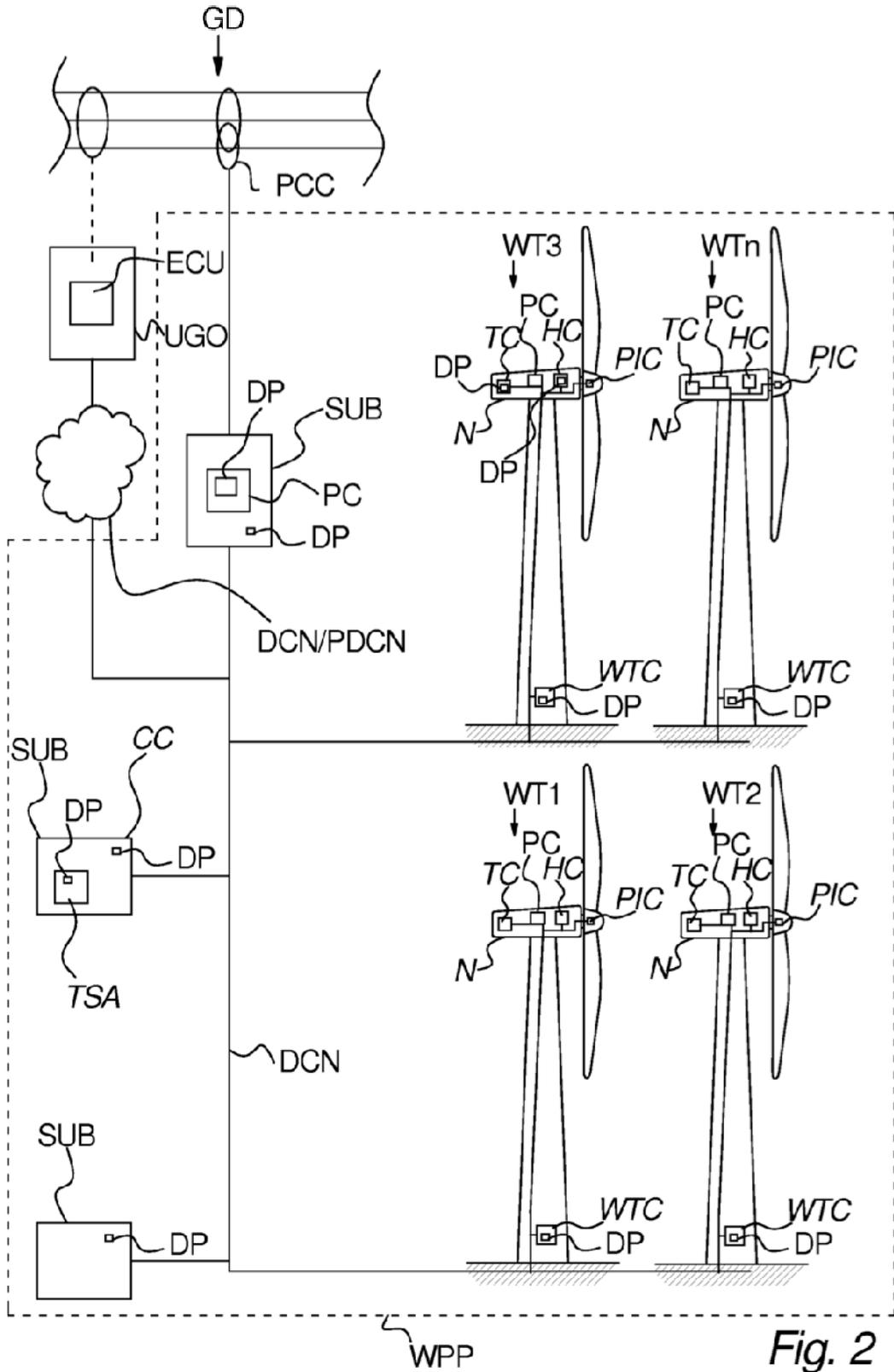


Fig. 2

