

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 558 428**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.12.2008 E 08860872 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.12.2015 EP 2223406**

54 Título: **Sistema de control basado en eventos para generadores de turbina eólica**

30 Prioridad:

19.12.2007 US 8608

19.12.2007 DK 200701827

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

04.02.2016

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)

HEDEAGER 42

8200 AARHUS, DK

72 Inventor/es:

MARTINEZ GARCIA, JORGE

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 558 428 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Sistema de control basado en eventos para generadores de turbina eólica

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un sistema de control que comprende una interfaz de control entre uno o más generadores de turbina eólica y una red de distribución eléctrica, en el que los generadores de turbina eólica están acoplados a la red de distribución eléctrica y contribuyen a la producción de energía eléctrica de la red de distribución. En particular, la presente invención se refiere a un sistema de control que controla un parámetro de los uno o más generadores de turbina eólica, a un método para controlar una salida de potencia de los uno o más generadores de turbina eólica, a un sistema SCADA y a un producto de programa informático.

10 Antecedentes de la invención

Una red de distribución eléctrica de gran escala puede alimentarse desde varios tipos de fuentes de alimentación diferentes. Normalmente la fuente de alimentación principal es un tipo de generador de energía eléctrica térmico, tal como turbinas de vapor basadas en carbón, combustible fósil o combustible nuclear. Sin embargo, cada vez más, los generadores de energía eléctrica eólicos contribuyen a la producción de energía eléctrica global en redes de distribución eléctrica de gran escala. Para los operadores de las redes de distribución eléctrica es primordial garantizar una producción de energía eléctrica estable y controlable de sus redes de distribución eléctrica. Dado que los generadores de turbina eólica son fuentes de alimentación relativamente inestables que fluctúan con las condiciones del viento, los generadores de turbina eólica deben interconectarse de manera apropiada a la red de distribución eléctrica para evitar transmitir las inestabilidades a la red de distribución dado que tales inestabilidades pueden crear perturbaciones que se propagan a través del sistema de red de distribución eléctrica. Con este propósito, la variabilidad del viento crea un desafío para la integración de altos niveles de energía eléctrica generada a partir del viento en redes de distribución eléctrica.

En conexión con controlar y monitorizar turbinas de generadores eólicos normalmente se aplica un sistema de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA, *Supervisory Control And Data Acquisition*). Un sistema SCADA también puede denominarse sistema de mando de supervisión y adquisición de datos (*Supervisory Command And Data Acquisition*). Un sistema SCADA, por un lado, está configurado para recopilar una gran cantidad de datos procedentes de los generadores de turbina eólica a los que está conectado y, por otro lado, está configurado para controlar los generadores de turbina eólica a los que está conectado por medio de rutinas de control que alimentan parámetros y ajustes de control a los generadores de turbina eólica, de modo que pueda garantizarse un suministro de energía eléctrica estable y controlado.

Soluciones de la técnica anterior que se refieren a garantizar una generación de energía eléctrica estable y controlable a partir de unos generadores de turbina eólica incluyen usar modelado meteorológico para predecir cambios en la producción de energía eléctrica a partir de generadores de turbina eólica. En la solicitud de patente estadounidense publicada 2004/0207207 se da a conocer una interfaz de control de energía eléctrica. Se da a conocer un sistema de control que usa datos derivados de la monitorización de la salida de potencia procedente de generadores de turbinas eólicas de un parque eólico y la línea de transmisión de energía eléctrica. Basándose en algoritmos de modelado de sistema, se predice la salida de potencia, y la generación de energía eléctrica se estabiliza almacenando o liberando la energía eléctrica generada en periodos inestables. Los algoritmos de modelado de sistema se basan en predicciones meteorológicas. Sin embargo, la solución basada en modelo, sufre por el hecho de que el sistema combinado de influencias externas, por ejemplo con base meteorológica, e influencias externas, por ejemplo basadas en electricidad, es extremadamente complejo y difícil, si no imposible, de modelar de manera precisa.

El artículo "Un controlador difuso para la máxima extracción de energía de sistemas de generación de energía eólica de velocidad variable" por Calderaro *et al.* tal como se publica en *Electric Power Systems Research* vol. 78, 31 (2007) da a conocer un sistema de control para generadores de turbina eólica. La metodología dada a conocer se basa en un modelo difuso para la máxima extracción de energía de turbinas eólicas de velocidad variable combinadas con algoritmos genéticos y métodos de optimización recursiva por mínimos cuadrados para adaptación de parámetros de modelo.

El inventor de la presente invención ha apreciado que resulta beneficioso un control mejorado de la salida de potencia de uno o más generadores de turbina eólica, y en consecuencia ha concebido la presente invención.

Sumario de la invención

La presente invención pretende proporcionar un modo mejorado de manipular parámetros usados en el control de uno o más generadores de turbina eólica. En particular, puede considerarse un objeto de la presente invención proporcionar medios para mejorar el comportamiento de un sistema de control, y de ese modo la salida de los uno o más generadores de turbina eólica. Preferiblemente, la invención alivia, mitiga o elimina uno o más problemas de la técnica anterior.

Según un primer aspecto de la invención se proporciona un sistema de control según la reivindicación 1.

El inventor de la presente invención ha advertido que, introduciendo en un sistema de control un conjunto de datos de evento y analizando estos datos según reglas condicionales, puede optimizarse, o al menos mejorarse, el control de parámetros, y de ese modo el control de una turbina eólica.

5 Los datos de evento se analizan según al menos una regla predeterminada. La regla predeterminada la establece normalmente un usuario o un diseñador del sistema. La regla se formula en términos de condiciones que han de satisfacerse. Es una ventaja de la presente invención, que las reglas y los datos de evento no tengan que acoplarse entre sí en un modelado del sistema. Esto es una ventaja, dado que modelar un sistema de generador de energía eléctrica-red de distribución, teniendo en cuenta todos los factores que pueden tener influencia sobre la generación de energía eléctrica a partir del viento, por ejemplo aspectos meteorológicos, y comportamiento de la red de distribución, por ejemplo fenómenos transitorios, es algo extremadamente complejo, que puede ser imposible de resolver.

En realizaciones, pueden usarse varias reglas predefinidas, tal como más de 3 reglas, más de 5 reglas, más de 10 reglas, más de 25 reglas, más de 50 reglas, más de 100 reglas o incluso varios cientos de reglas.

15 En realizaciones, el conjunto de datos de evento comprende varios parámetros diferentes, tal como más de 3 parámetros, más de 5 parámetros, más de 10 parámetros, más de 25 parámetros, más de 50 parámetros, más de 100 parámetros o incluso varios cientos de parámetros.

20 El analizador de eventos proporciona un análisis de evento del conjunto de datos de evento en términos de al menos una condición de evento predefinida y un conjunto de condiciones de evento adaptativas. La condición de evento predeterminada refleja una condición conocida, mientras que las condiciones de evento adaptativas reflejan condiciones en términos de valores de los datos de evento, estos valores de datos no son necesariamente conocidos, y además las condiciones adaptativas pueden refinarse (adaptarse) durante el funcionamiento de la interfaz de control. De este modo, puede definirse un evento tanto mediante condiciones predefinidas conocidas como mediante condiciones que se adaptan durante el funcionamiento. Esto es una ventaja, dado que no se necesita conocimiento de los valores específicos de las condiciones adaptativas antes del funcionamiento.

30 La interfaz de control controla al menos un parámetro de los datos de evento. El parámetro puede ser un parámetro indicativo de un parámetro físico de los uno o más generadores de turbina eólica u otros componentes en el parque eólico relacionado con la energía eléctrica producida por los generadores de turbina eólica. El parámetro puede denominarse parámetro de sistema. Los parámetros típicos comprenden, pero no se limitan a, un parámetro seleccionado para un grupo de los siguientes parámetros: tensión de salida por fase, corriente de salida por fase, ángulo de fase entre tensión y corriente de la red de distribución, desplazamiento de ángulo de fase entre fases individuales y frecuencia de la red de distribución, etc.

35 En realizaciones ventajosas, la interfaz de control está conectada con comunicación a un sistema SCADA o está implementada al menos en parte en un sistema SCADA. Todos los datos de evento relevantes están disponibles normalmente para el sistema SCADA, además un sistema SCADA se usa normalmente en conexión con parámetros de control de uno o más generadores de turbina eólica. Realizaciones de la presente invención pueden integrarse de ese modo en, y de ese modo actualizar los sistemas existentes, y pueden proporcionarse sistemas nuevos que no requieren un rediseño importante del sistema SCADA.

40 En una realización ventajosa, la condición de evento predefinida se basa en un cambio predefinido de un valor de parámetro de un parámetro seleccionado de los datos de evento. El parámetro seleccionado puede ser el parámetro que ha de controlar el sistema de control. El parámetro seleccionado así como la magnitud del cambio predefinido puede seleccionarlo o establecerlo un usuario o un diseñador del sistema.

45 En una realización ventajosa, las condiciones de evento adaptativas se basan en un conjunto de valores de parámetro de un conjunto seleccionado de parámetros de los datos de evento. El conjunto de parámetros de los datos de evento puede seleccionarlo o establecerlo un usuario o un diseñador del sistema.

50 El analizador de eventos analiza el conjunto de datos de evento. En una realización, el análisis puede ser un proceso de dos etapas. En una primera etapa los datos de evento se monitorizan según las condiciones fijadas por la al menos una regla de evento predeterminada, y en una segunda etapa se inicia un análisis de evento sustancial cuando los valores del conjunto de datos de evento satisfacen el conjunto de condiciones de evento adaptativas. Al iniciar el análisis de evento basándose en las condiciones de evento adaptativas, puede garantizarse que el análisis de evento y de ese modo el control del parámetro se realiza independientemente de las condiciones de evento predeterminadas. Por ejemplo en una situación en la que los datos de evento indican un evento dado tal como se define mediante la condición de evento predefinida antes de que se produzca el propio evento, la interfaz de control puede garantizar que el sistema está listo para el evento. Es decir, la interfaz de control puede predecir la aparición de un evento, o al menos proporcionar una probabilidad de la aparición de un evento. Con este propósito, la interfaz de control puede denominarse interfaz de control predictivo o controlador de evento predictivo.

En realizaciones a modo de ejemplo, cada condición de evento en el conjunto de condiciones de evento adaptativas

5 comprende una ponderación de evaluación adaptativa. La ponderación de evaluación puede reflejar la relevancia de la correspondiente condición de evento adaptativa, de manera que una baja ponderación refleja una condición de baja importancia, mientras que una alta ponderación refleja una condición de alta importancia. En una realización, puede asociarse más de una ponderación de evaluación a cada una o algunas de las condiciones de evento adaptativas.

En realizaciones a modo de ejemplo, cuando se cumple la al menos una condición de evento predefinida, el conjunto de condiciones de evento adaptativas se modifican según un algoritmo de modificación. Pueden usarse diferentes tipos de algoritmos de modificación. La modificación puede realizarse modificando las ponderaciones de evaluación.

10 En realizaciones a modo de ejemplo, la salida de evento del análisis de evento puede basarse en, e incluso combinar, diferentes tipos de análisis. La salida de evento puede basarse en al menos una, pero normalmente varias, reglas difusas, la salida de evento puede basarse en una red neuronal, y/o la salida de evento puede basarse en análisis estadístico. La lógica difusa y la red neuronal son herramientas muy potentes para predecir eventos basándose en datos condicionales. Sin embargo, con lógica difusa y redes neuronales puede resultar difícil comprender la base subyacente de una decisión. Por tanto, al menos para algunos sistemas puede ser deseable basar el análisis de evento en un análisis estadístico.

15 En realizaciones a modo de ejemplo, el control del al menos un parámetro de los datos de evento puede basarse en establecer un parámetro de ajuste de un controlador P, un controlador PI o un controlador PID. Los controladores P, PI y PID son controladores extremadamente versátiles y ampliamente utilizados. Es una ventaja de un controlador de este tipo que son muy sencillos de implementar. Sin embargo, es un problema de los controladores de este tipo, que son propensos a inestabilidades cuando hay cambios de puntos de referencia o valores objetivo. En una realización ventajosa de la presente invención, el resultado del análisis de evento es determinar o establecer parámetros de ajuste usados en un controlador P, PI o PID.

Según un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un método para controlar una salida de potencia de uno o más generadores de turbina eólica a una red de distribución eléctrica según la reivindicación 12.

25 En un tercer y cuarto aspectos de la presente invención, el método según el segundo aspecto se implementa en un sistema SCADA y en un producto de programa informático que tiene un conjunto de instrucciones, cuando se usa en un ordenador, para hacer que el ordenador realice el método del segundo aspecto.

El producto de programa informático puede usarse en conexión con un sistema SCADA programable.

30 En general, los aspectos individuales de la presente invención pueden combinarse cada uno con cualquiera de los otros aspectos. Estos y otros aspectos de la invención resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción con referencia a las realizaciones descritas.

Breve descripción de las figuras

Se describirán realizaciones de la invención, solo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos, en los que

35 la figura 1 ilustra esquemáticamente elementos de un sistema de control que comprende una interfaz de control entre una salida de potencia de uno o más generadores de turbina eólica y una red de distribución eléctrica;

la figura 2 ilustra un ejemplo de un conjunto de datos de evento que se introducen en, o se monitorizan mediante, un controlador de eventos;

la figura 3 ilustra un diagrama de una realización a modo de ejemplo en la que se aplica lógica difusa;

40 la figura 4 ilustra esquemáticamente una implementación de elementos de control en forma de controladores PI para controlar un parámetro de los datos de evento; y

la figura 5 ilustra un diagrama de flujo de realizaciones según la presente invención.

Descripción de realizaciones

45 A continuación se describirán realizaciones del sistema de control según la presente invención. En las realizaciones descritas, el sistema de control se implementa en conexión con un sistema de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA). Sin embargo, ha de entenderse, que el sistema de control no se limita a la implementación de un sistema SCADA, sino que puede implementarse en conexión con cualquier tipo de sistema de control entre una salida de potencia de uno o más generadores de turbina eólica y una red de distribución eléctrica.

50 La figura 1 ilustra esquemáticamente elementos de una realización de la presente invención. La figura ilustra esquemáticamente una interfaz de control 1 entre una salida de potencia 2 de uno o más generadores de turbina eólica 3 y una red de distribución eléctrica 4. Los uno o más generadores de turbina eólica 3 pueden tener la forma de un parque eólico que comprende varias turbinas. La red de distribución eléctrica 4 puede ser cualquier tipo de red de distribución, tal como una red de distribución de gran escala típica para distribuir electricidad a áreas

residenciales, áreas industriales, etc.

La interfaz de control se ilustra esquemáticamente mediante un sistema SCADA 5 y un controlador de eventos 6. Esto tiene una finalidad ilustrativa dado que un sistema SCADA entero no forma parte necesariamente de la interfaz. En cambio, en realizaciones, el sistema SCADA puede estar conectado con comunicación a la interfaz de control o la interfaz de control puede implementarse al menos en parte en un sistema SCADA. Por tanto, en realizaciones, la interfaz de control según la presente invención puede implementarse en un único módulo o elemento, o puede implementarse o distribuirse en varios elementos. La implementación puede basarse meramente en software, basarse meramente en hardware, o una solución combinada de software y hardware. En la realización ilustrada, el controlador de eventos 6 implementa la funcionalidad añadida del sistema SCADA con el fin de obtener una interfaz de control según las realizaciones de la presente invención.

La interfaz de control 1 comprende una unidad de entrada 7 para recibir un conjunto de datos de evento. La unidad de entrada se ilustra como un elemento de entrada del controlador de eventos 6. En general, la entrada puede ser cualquier medio de recepción de datos o señales que representen los datos de evento. Los datos de evento se introducen en un analizador de eventos 8 para analizar los datos de evento, y para proporcionar una salida de evento basada en el análisis de evento. La salida de evento se introduce en una unidad de control 9 para controlar el parámetro según la salida de evento. Los datos de evento pueden recibirse 12 en, o puede accederse a los mismos desde el sistema SCADA. La salida de evento se introduce 14 en el sistema SCADA, que emite una señal de control 15 según la salida de evento. La señal de control 15 se proporciona a los generadores de turbina eólica, por ejemplo proporcionando la señal de control a los controladores individuales de los generadores de turbina eólica, y/u otros componentes en el parque eólico, por ejemplo equipo de compensación (tal como banco de condensadores, compensador estático síncrono, SVC, etc.), proporcionando la señal de control a una unidad de control central que controla los generadores de turbina eólica individuales.

En una realización, la interfaz de control controla al menos un parámetro de los datos de evento, en términos de una estabilización del parámetro. El parámetro puede ser cualquier parámetro controlado o monitorizado por el sistema SCADA. Parámetros típicos controlados por un sistema SCADA incluyen, pero no se limitan a, los siguientes parámetros: tensión de salida por fase, corriente de salida por fase, ángulo de fase entre tensión y corriente de la red de distribución, desplazamiento de ángulo de fase entre fases individuales y frecuencia de la red de distribución, etc. El parámetro se mide normalmente en una ubicación de salida 10 y se introduce 11 en el sistema SCADA.

Los uno o más parámetros forman parte de un conjunto de datos denominado conjunto de datos de evento. El conjunto de datos de evento puede comprender una gran cantidad de datos, incluyendo pero sin limitarse a datos en el grupo de: datos indicativos de la corriente proporcionada a la red de distribución eléctrica, datos indicativos de la tensión proporcionada a la red de distribución eléctrica, un parámetro indicativo de la velocidad del viento presente en los uno o más generadores de turbina eólica, datos de tiempo, datos indicativos de la potencia activa, datos indicativos de la potencia reactiva, datos indicativos de la potencia total, datos meteorológicos, datos indicativos de la potencia reactiva, datos indicativos de la frecuencia de la red de distribución, datos indicativos de una fase, número de generadores de turbina eólica activos, datos indicativos del estado de la red de distribución eléctrica, nivel objetivo de un parámetro, datos de control de uno o más sistemas de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA), por ejemplo situados en diferentes ubicaciones geográficas.

En general, los datos de evento pueden comprender cualquier dato disponible del sistema SCADA, y el controlador de eventos puede estar dispuesto para recibir al menos parte de, y normalmente la totalidad del, conjunto de datos de evento procedentes del sistema SCADA. El sistema SCADA puede recibir los datos procedentes de la ubicación de salida 10 y procedentes del parque eólico 13, etc.

En un sistema SCADA conocido, se usan varios controladores PI para estabilizar varios parámetros de las una o más turbinas eólicas, y de ese modo la salida de las turbinas eólicas. El controlador PI puede controlar, por ejemplo, la potencia reactiva Q . El controlador monitoriza la potencia reactiva medida Q_{med} y la compara con un punto de referencia o valor objetivo de la potencia reactiva Q^* . Basándose en la comparación se determina una Q_{sal} de salida. Tal como se conoce en la técnica, el controlador PI funciona aplicando un conjunto de parámetros de ajuste. En realizaciones, también pueden aplicarse controladores P o controladores PID. Tal como se conoce en la técnica la estabilidad de los controladores P, PI y PID es altamente dependiente del parámetro de ajuste usado en el bucle de control. Además, los parámetros de ajuste que son estables para un punto de referencia dado, no son necesariamente estables para otro punto de referencia. Por ejemplo, si por un motivo u otro la tensión de la red de distribución disminuye bruscamente o la impedancia de cortocircuito de la red de distribución cambia a un valor muy diferente, los parámetros de ajuste del controlador pueden no ser óptimos para estas nuevas condiciones del entorno, y la salida es propensa a inestabilidades o a sobremodulación si no se adaptan los parámetros de ajuste.

Pueden conocerse con antelación parámetros de ajuste relevantes para un punto de referencia relevante, tales parámetros de ajuste pueden almacenarse de un modo adecuado, tal como mediante el uso de una tabla. El problema no es variar los parámetros de ajuste, sino saber cuándo aplicar los parámetros de ajuste relevantes.

Realizaciones de la presente invención proporcionan una solución a este problema.

El controlador de eventos monitoriza el conjunto de datos de evento en términos de un análisis basado en reglas. En realizaciones, el análisis basado en reglas no implica ningún modelado del funcionamiento de la red de distribución o el parque eólico, etc.

5 Las reglas se basan en al menos una condición de evento predefinida y un conjunto de condiciones de evento adaptativas.

10 Las condiciones de evento predefinidas las fija un usuario o diseñador de la interfaz de control. Ejemplos de condiciones de evento predefinidas incluyen pero no se limitan a condiciones de un cambio en un valor de parámetro. Por ejemplo, una condición de evento predefinida podría ser una caída en la tensión de salida medida en el intervalo del 5% al 15%. En realizaciones generales, una disminución o aumento en cualquier parámetro que está controlado por el sistema SCADA puede establecerse como una condición de evento predefinida. El conjunto de condiciones de evento adaptativas son, en realizaciones, los valores de parámetro medidos de los datos de evento asociados a la condición de evento predefinida. En la figura 2 se proporciona un ejemplo.

15 Normalmente, un usuario o un diseñador del sistema deciden qué datos van a usarse como datos de evento. En principio pueden usarse todos los datos de evento disponibles para la interfaz de control, sin embargo también puede seleccionarse un subconjunto.

En la figura 2 un conjunto de datos de evento 20 se introduce en, o monitoriza mediante, el controlador de eventos. En la realización de la figura 2, el conjunto de datos de evento comprende la corriente medida I_m , la tensión medida V_m , la velocidad del viento medida en ubicaciones específicas en el parque eólico s_w , los datos de tiempo t , la potencia activa P , la potencia reactiva Q y la frecuencia de la red de distribución f .

20 Como ejemplo, una regla de evento predefinida puede definirse como

El evento predefinido:

caída de V_m entre el 5% y el 15%

Las condiciones de evento adaptativas son los valores de los datos de evento cuando se satisface la condición de evento predefinida, indicada por ejemplo como t_{satisf} , por ejemplo:

25 Condiciones de evento adaptativas:

$$A1 = I_m(t= t_{\text{satisf}})$$

$$A2 = v_s(t= t_{\text{satisf}})$$

$$A3 = t(t= t_{\text{satisf}})$$

$$A4 = P(t= t_{\text{satisf}})$$

30 $A5 = Q(t= t_{\text{satisf}})$

$$A6 = f(t= t_{\text{satisf}})$$

35 Sin embargo, generalmente, el conjunto de condiciones de evento adaptativas se basan en valores del conjunto de datos de evento en un periodo de tiempo 22 hasta el momento en el que se cumple la condición de evento predefinida. Por ejemplo, las condiciones de evento adaptativas específicas pueden ser valores medios de los valores medidos en el periodo de tiempo hasta satisfacer la condición de evento predefinida. El periodo de tiempo puede ser diferente para diferentes datos. Por ejemplo el periodo de tiempo de datos tales como: corriente, tensión, potencia y frecuencia puede no tener que ser demasiado largo, por ejemplo de algunos segundos, mientras que el periodo de tiempo de datos tales como la velocidad del viento, puede tener que ser más largo, tal como de unos 30 minutos o unas pocas horas. Naturalmente, el valor medio no se toma para datos tales como datos de tiempo, por ejemplo hora, día de la semana, mes etc.

40 La condición de evento predefinida se ilustra en la figura 2 mediante una caída 21 en la tensión de medición.

45 La primera vez que se cumple la condición de evento predefinida, se establecen las condiciones de evento adaptativas. En una realización, cada condición de evento en el conjunto de condiciones de evento adaptativas comprende una ponderación de evaluación adaptativa. La primera vez la condición de evento predefinida la ponderación de evaluación puede establecerse en 1 (100%).

En una realización, el conjunto de condiciones de evento adaptativas se modifican de manera adaptativa cada vez que se cumple la condición de evento predefinida.

50 La siguiente vez que se cumple la condición de evento predefinida, se modifican las condiciones de evento adaptativas. En una realización, se realiza una comparación entre las condiciones de evento adaptativas almacenadas y las condiciones de evento adaptativas medidas u obtenidas recientemente.

Por ejemplo, cada vez que se cumple la condición de evento predefinida: caída de V_m entre el 5% y el 15%, se modifican las ponderaciones de evaluación adaptativa:

El evento predefinido:

caída de V_m entre el 5% y el 15%

5 Condiciones de evento adaptativas:

A1	$I_m(1) = 20 \text{ A}$	$w_1=1$	$I_m(2) = 19 \text{ A}$	$w_2=0,99$
A2	$v_s(1) = 4 \text{ m/s}$	$w_1=1$	$v_s(2) = 1 \text{ m/s}$	$w_2=0,5$
A3	$t(1) = 7:50 \text{ am}$	$w_1=1$	$t(2) = 7:50 \text{ am}$	$w_2=1$
A4	$P(1) = 2500 \text{ W}$	$w_1=1$	$P(2) = 2400 \text{ W}$	$w_2=0,99$
A5	$Q(1) = 1000 \text{ Var}$	$w_1=1$	$Q(2) = 1100 \text{ Var}$	$w_2=0,99$
A6	$f(1) = 50 \text{ Hz}$	$w_1=1$	$f(2) = 50 \text{ Hz}$	$w_2=1$

A1	$I_m(3) = 21 \text{ A}$	$w_3=0,98$	$I_m(n) = 19 \text{ A}$	$w_n=0,99$
A2	$v_s(3) = 9 \text{ m/s}$	$w_3=0,25$	$v_s(n) = 1 \text{ m/s}$	$w_n =0,01$
A3	$t(3) = 7:51 \text{ am}$	$w_3=0,99$	$t(n) = 7:50 \text{ am}$	$w_n =0,99$
A4	$P(3) = 2000 \text{ W}$	$w_3=0,6$	$P(n) = 2400 \text{ W}$	$w_n =0,01$
A5	$Q(3) = 600 \text{ Var}$	$w_3=0,6$	$Q(n) = 1100 \text{ Var}$	$w_n =0,01$
A6	$f(3) = 50 \text{ Hz}$	$w_3=1$	$f(n) = 50 \text{ Hz}$	$w_n =1$

Tras n eventos una regla puede ser: cuando $I_m = 20 \text{ A}$, la hora es 7:50 y la frecuencia es 50 Hz, hay una gran probabilidad de que la tensión disminuya en el intervalo del 5% al 15%.

10 En una realización, la regla puede ser, tras n eventos: cuando I_m está en el intervalo de 19 A a 21 A, la hora está entre 7:45 y 7:55 y la frecuencia es 50 Hz, hay una gran probabilidad de que la tensión disminuya en el intervalo del 5% al 15%.

En una realización, pueden establecerse criterios en cuanto al número de eventos, n, cuando se aplica una regla en el análisis de evento. Alternativamente, pueden establecerse criterios en cuanto a la estabilidad de las ponderaciones entre eventos sucesivos. También pueden establecerse otros criterios.

15 El analizador de eventos analiza los datos de evento, y cuando los valores del conjunto de datos de evento satisfacen el conjunto de condiciones de evento adaptativas, se inicia el análisis de evento para proporcionar una salida de evento. En la realización en la que un parámetro se controla mediante un controlador PI, la salida de evento puede ser establecer los parámetros de ajuste de PI según la caída de tensión, evitando de ese modo inestabilidades en la tensión de salida, o al menos disminuir tales inestabilidades.

20 Por tanto, puede saberse qué parámetros de ajuste usar en conexión con una caída de tensión entre el 5% y el 15%. Sin embargo, estos parámetros de ajuste pueden no ser los mismos que los parámetros de ajuste que van a usarse en conexión con una caída de tensión entre el 20% y el 25%.

25 A partir de la regla de evento, puede ser posible incluso antes de que se produzca el evento determinar o predecir que está a punto de producirse un evento dado, así como distinguir entre diferentes eventos con condiciones de evento predefinidas que se solapan.

Por ejemplo aplicando la regla mencionada anteriormente: cuando $I_m = 20\text{A}$, la hora es 7:50 y la frecuencia es 50 Hz, se establece el parámetro de ajuste de P e I en valores que están optimizados para la tensión en el intervalo del 85% al 95% de la tensión objetivo y se mantiene este parámetro de ajuste durante 15 minutos.

30 La modificación de las condiciones de evento adaptativas, por ejemplo adaptando las ponderaciones de evaluación adaptativas puede realizarse según un algoritmo de modificación.

Pueden utilizarse diferentes tipos de algoritmo de modificación, por ejemplo el algoritmo de modificación puede basarse en lógica difusa, en una red neuronal, en un análisis estadístico, u otros medios.

La figura 3 ilustra un diagrama de una realización a modo de ejemplo de un analizador de eventos que aplica lógica difusa para proporcionar una salida de evento.

Se introducen un conjunto de datos de evento 20 en el analizador de eventos 30, y al igual que en conexión con la figura 2, a los datos de evento se han asignado seis condiciones de evento adaptativas (A1 a A6, 31).

El conjunto de datos de evento puede analizarse evaluando estadísticamente los valores medidos ($I_m \dots f_m$, 32) para obtener ponderaciones estadísticas ($w_1 \dots w_6$, 33), por ejemplo por medio de curvas de correlación. Las curvas de correlación se indican esquemáticamente en la figura 3 mediante las curvas indicadas por el número de referencia 32. En una curva de correlación pueden obtenerse ponderaciones estadísticas a partir de una función que correlaciona un valor medido con una probabilidad de que el valor medido es indicativo del evento. Por tanto, para el evento definido anteriormente (disminución de V_m entre el 5% y el 15%), w_1 representa la probabilidad, basándose en eventos anteriores, de que el valor medido de I_m sea indicativo del evento, y asimismo para las ponderaciones w_2 a w_6 .

Las ponderaciones ($w_1 \dots w_6$, 33) se introducen en un analizador difuso 301, por ejemplo que funciona con al menos una regla difusa, por ejemplo en forma de funciones de pertenencia. Las funciones de pertenencia pueden formularse por ejemplo como: el valor medido indica baja probabilidad del evento 34, el valor medido indica probabilidad media del evento 35 y el valor medido indica alta probabilidad del evento 36 para cada ponderación. Basándose en las funciones de pertenencia, a cada ponderación se asignan grados de pertenencia a las funciones de pertenencia.

Los grados de pertenencia se introducen 37 en un motor de reglas difusas 38 que comprende un conjunto de reglas difusas para asignar una etiqueta difusa global a los datos de evento.

Ejemplos de etiquetas difusas pueden ser tales como: los datos de evento indican alta probabilidad de evento, los datos de evento indican probabilidad media de evento y los datos de evento indican baja probabilidad de evento.

La etiqueta difusa se introduce 39 en un motor de decodificación de difusión 300, que basándose en la etiqueta difusa determina una salida de evento 302, tal como ajustes específicos para controlar los parámetros, por ejemplo estableciendo parámetros de ajuste de PI según las etiquetas difusas. Por ejemplo, si la etiqueta difusa es igual a una alta probabilidad de evento, establecer parámetros de ajuste en los siguientes valores, si la etiqueta difusa es igual a una probabilidad media de evento, establecer parámetros de ajuste a otros valores, etc.

En una realización que utiliza una red neuronal, puede implementarse una red neuronal para entrenar el controlador de eventos, por ejemplo entrenando el analizador difuso mencionado anteriormente, para determinar la regla óptima. Tal red neuronal puede entrenarse en un gran número de casos o puede entrenarse a sí misma según aumente el número de eventos.

En una realización que utiliza un análisis estadístico, se realizan cálculos estadísticos, tales como desviación media de valores con n creciente y basando las reglas en datos con pequeñas desviaciones observadas con n creciente.

La figura 4 ilustra esquemáticamente una implementación de elementos para controlar un parámetro de los datos de evento.

En un sistema SCADA pueden estar presentes varios bucles de control para controlar varios parámetros, en la figura 4, se muestran controladores PI 40-42 para potencia reactiva, Q , tensión, V , y desplazamiento de fase, $\cos\phi$. Cada controlador PI recibe o almacena un valor objetivo (valores marcados con *) y los valores medidos (subíndice m). Los valores objetivo son normalmente valores constantes para mantener un nivel de salida o valores de rampa para aumentar o disminuir un nivel de salida. El controlador PI emite un ajuste de salida (valores marcados con '). Se entiende que aunque se suponga un controlador PI en la figura 4, esto es meramente para simplificar la descripción, también pueden usarse controladores P y PID, así como controladores similares.

En una realización el parámetro se controla en términos de establecer 44 los parámetros de ajuste de los controladores PI. En esta realización, los controladores PI funcionan normalmente excepto porque los parámetros de ajuste que se usan en su bucle de control vienen dictados por la interfaz de control 43.

En una realización, en lugar o además de controlar los parámetros de ajuste de PI, el parámetro se controla en términos de una señal de corrección. En esta realización, el controlador PI funciona normalmente, sin embargo los valores de salida se modifican 45 según la señal de corrección dictada por la interfaz de control.

Las señales de salida se introducen en un módulo de control 46 para proporcionar las señales relevantes al generador de turbina eólica o al equipo relevante para controlar y hacer funcionar los generadores de turbina eólica.

La figura 5 ilustra un diagrama de flujo de realizaciones según la presente invención.

Los datos de evento se reciben 50, por ejemplo monitorizando temporalmente los datos como se ilustra esquemáticamente en la figura 2.

Los datos de evento se analizan 51 en términos de comparar 52 los datos de evento con al menos una regla de evento que se basa en al menos una condición de evento predefinida 53 y un conjunto de condiciones de evento adaptativas 54.

Se proporciona una salida de evento 52 y si la salida de evento satisface los criterios fijados por la regla de evento, el parámetro se controla 55 según la salida de evento.

En realizaciones, las condiciones de evento adaptativas pueden adaptarse 56 cuando se ha cumplido una condición de evento predefinida.

5 En una realización, la interfaz de control tiene en cuenta no sólo datos de evento procedentes de un solo parque eólico, sino también datos de control procedentes de otros sistemas SCADA que están conectados de manera operativa a otros parques eólicos independientes. Es decir, los datos de evento comprenden datos de control procedentes de un sistema SCADA de una ubicación independiente. Los parques eólicos son independientes en ubicación geográfica, pero están acoplados a la misma red de distribución eléctrica. En tales sistemas, las producciones de energía eléctrica en ubicaciones geográficas independientes pueden tener influencia unas sobre otras. En una realización de este tipo, la interfaz de control puede hacerse funcionar para controlar o estabilizar parámetros de los parques eólicos acoplados, por ejemplo para garantizar una producción de energía eléctrica estable global de los parques eólicos.

15 En general, la invención puede implementarse por medio de hardware, software, firmware o cualquier combinación de los mismos. La invención o algunas de las características de la misma también pueden implementarse como software que se ejecuta en uno o más procesadores de datos y/o procesadores de señal digital.

20 Los elementos individuales de una realización de la invención pueden implementarse física, funcional y lógicamente de cualquier manera adecuada tal como en una sola unidad, en una pluralidad de unidades o como unidades funcionales independientes. La invención puede implementarse en una sola unidad o puede distribuirse física y funcionalmente entre diferentes unidades y procesadores.

Aunque la presente invención se ha descrito en conexión con las realizaciones especificadas, no se interpretará como limitada de ningún modo a los presentes ejemplos. El alcance de la presente invención se interpretará a la luz del conjunto de reivindicaciones adjuntas. En el contexto de las reivindicaciones, los términos “que comprende/comprendiendo” o “comprende” no excluyen otros elementos o etapas posibles. Además, la indicación de referencias tales como “un” o “una” etc. no se interpretará como que excluye una pluralidad. El uso de símbolos de referencia en las reivindicaciones con respecto a los elementos indicados en las figuras tampoco se interpretará como limitativo del alcance de la invención. Además, las características individuales mencionadas en diferentes reivindicaciones, pueden combinarse posiblemente de manera ventajosa y la indicación de estas características en diferentes reivindicaciones no excluye que sea posible y ventajosa una combinación de características.

30

REIVINDICACIONES

1. Sistema de control que comprende una interfaz de control (1) entre una salida de potencia (2) de uno o más generadores de turbina eólica (3) y una red de distribución eléctrica (4), estando la interfaz de control conectada con comunicación a un sistema de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) (5), comprendiendo la interfaz de control:
 - una unidad de entrada (7) para recibir una señal que representa:
 - un conjunto de datos de evento (20), comprendiendo el conjunto de datos de evento uno o más parámetros de los uno o más generadores de turbina eólica;
 - un analizador de eventos (8) para analizar el conjunto de datos de evento para proporcionar un análisis de evento del conjunto de datos de evento; y
 - una unidad de control (9) para controlar al menos un parámetro del conjunto de datos de evento, caracterizado por que
 - al menos parte del conjunto de datos de evento se recibe desde el sistema de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA); y por que
 - el análisis de evento se basa en al menos una regla de evento predeterminada que comprende al menos una condición de evento predefinida y un conjunto de condiciones de evento adaptativas, en el que la condición de evento predefinida se basa en un cambio predefinido de un valor de parámetro de un parámetro seleccionado del conjunto de datos de evento y en el que las condiciones de evento adaptativas se basan en un conjunto de valores de parámetro de un conjunto seleccionado de parámetros del conjunto de datos de evento; y por que
 - la salida de evento se basa en el análisis de evento; y además por que
 - el control del al menos un parámetro del conjunto de datos de evento según la salida de evento se obtiene introduciendo la salida de evento en el sistema de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) que emite una señal de control (15) según la salida de evento.
2. Sistema de control según la reivindicación 1, en el que la interfaz de control está implementada al menos en parte en un sistema de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA).
3. Sistema de control según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el conjunto de datos de evento comprende además datos seleccionados de un grupo que comprende: datos indicativos de la corriente proporcionada a la red de distribución eléctrica, datos indicativos de la tensión proporcionada a la red de distribución eléctrica, un parámetro indicativo de la velocidad del viento presente en los uno o más generadores de turbina eólica, datos de tiempo, datos indicativos de la potencia activa, datos indicativos de la potencia reactiva, datos indicativos de la potencia total, datos meteorológicos, datos indicativos de la potencia reactiva, datos indicativos de la frecuencia de la red de distribución, datos indicativos de al menos una fase, datos indicativos del estado de la red de distribución, número de generadores de turbina eólica activos, nivel objetivo de un parámetro, datos de control procedentes de un sistema de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA).
4. Sistema de control según la reivindicación 1, en el que el parámetro seleccionado es un parámetro seleccionado de un grupo que comprende: tensión de salida por fase, corriente de salida por fase, ángulo de fase entre tensión y corriente de la red de distribución, desplazamiento de ángulo de fase entre fases individuales y frecuencia de la red de distribución.
5. Sistema de control según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el análisis de evento se inicia cuando los valores del conjunto de datos de evento satisfacen el conjunto de condiciones de evento adaptativas.
6. Sistema de control según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cuando se cumple la al menos una condición de evento predefinida, el conjunto de condiciones de evento adaptativas se modifican según un algoritmo de modificación.
7. Sistema de control según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la salida de evento se basa en al menos una regla difusa.
8. Sistema de control según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la salida de evento se basa en una red neuronal.
9. Sistema de control según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la salida de evento se

basa en análisis estadístico.

10. Sistema de control según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el control del al menos un parámetro del conjunto de datos de evento se basa en establecer un parámetro de ajuste de un controlador P, controlador PI o un controlador PID.
- 5 11. Sistema de control según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el al menos un parámetro del conjunto de datos de evento se controla en términos de una señal de corrección.
12. Método para controlar una salida de potencia procedente de uno o más generadores de turbina eólica a una red de distribución eléctrica, estando los uno o más generadores de turbina eólica conectados con comunicación a un sistema de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA), comprendiendo el método:
- 10 - recibir (50) un conjunto de datos de evento, comprendiendo el conjunto de datos de evento uno o más parámetros de los uno o más generadores de turbina eólica;
- analizar (51) el conjunto de datos de evento para proporcionar un análisis de evento; y
- controlar (55) al menos un parámetro del conjunto de evento;
- 15 caracterizado por que
- al menos parte del conjunto de datos de evento se recibe desde el sistema de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA); y por que
- 20 - el análisis de evento se basa en al menos una regla de evento predeterminada (52) que comprende al menos una condición de evento predefinida (53) y un conjunto de condiciones de evento adaptativas (54) en el que la condición de evento predefinida se basa en un cambio predefinido de un valor de parámetro de un parámetro seleccionado del conjunto de datos de evento y en el que las condiciones de evento adaptativas se basan en un conjunto de valores de parámetro de un conjunto seleccionado de parámetros del conjunto de datos de evento; y además por que
- el control (55) del al menos un parámetro del conjunto de datos de evento es acorde a la salida de evento.
- 25 13. Sistema de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) que está dispuesto para funcionar según el método de la reivindicación 12.
14. Producto de programa informático que tiene un conjunto de instrucciones, cuando se usa en un ordenador, para hacer que el ordenador realice el método según la reivindicación 12.

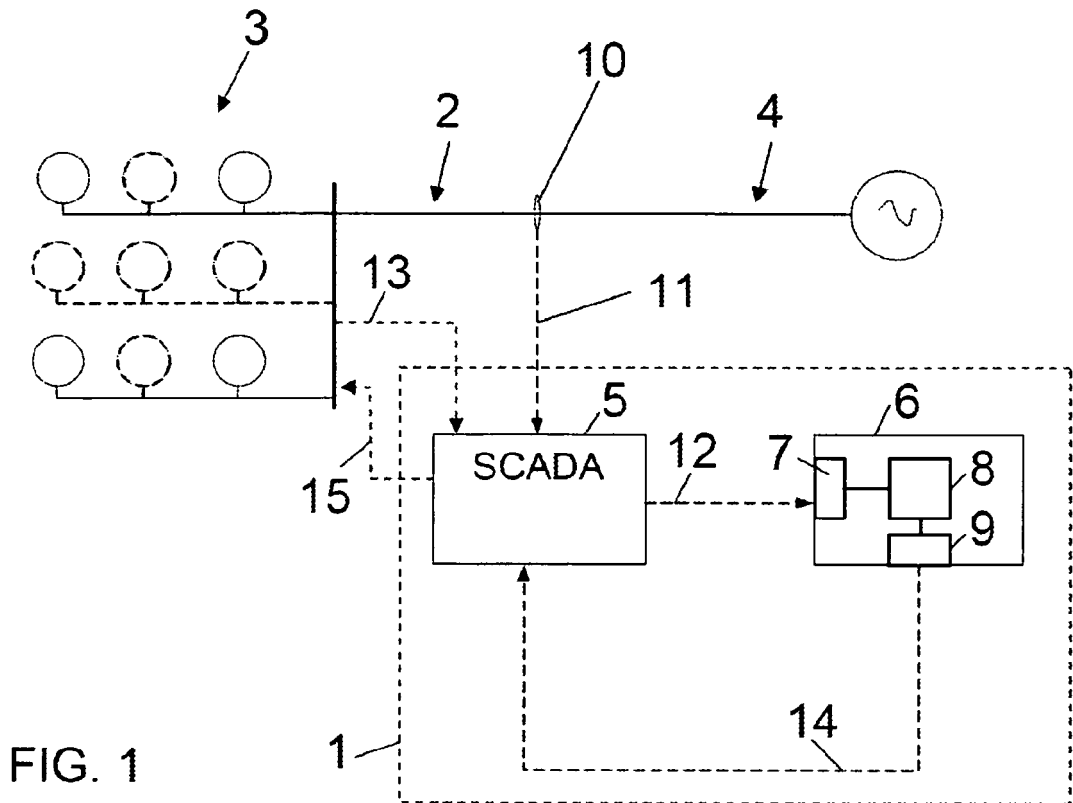


FIG. 1

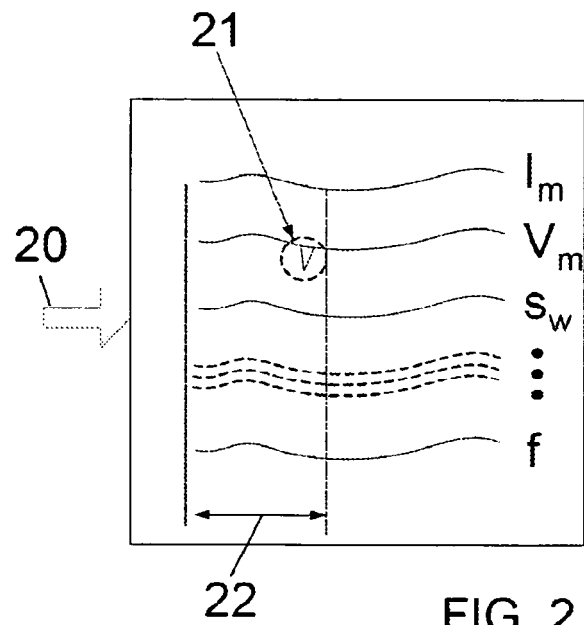


FIG. 2

