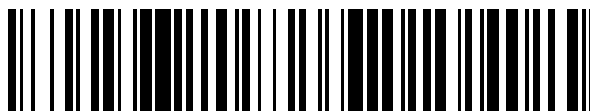


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 535 409**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.05.2010** **E 10162644 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2015** **EP 2256339**

54 Título: **Procedimiento de control de turbina eólica**

30 Prioridad:

18.05.2009 DK 200970007
18.05.2009 US 179126 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.05.2015

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

KNUDSEN, JAN VESTERGAARD

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 535 409 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de control de turbina eólica

Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere a una estrategia de control para turbinas eólicas destinada a detectar y evitar situaciones de cambios inconsistentes en el control que de otro modo pueden dar lugar a situaciones de carga extremas sobre los componentes de la turbina eólica.

Antecedentes

- 10 La mayoría de las turbinas eólicas modernas se controlan y se regulan de forma continua, lo más a menudo con el propósito de garantizar una extracción de potencia máxima del viento bajo el clima de viento actual, mientras que al mismo tiempo se garantiza que las cargas sobre los diferentes componentes de la turbina eólica se mantienen en cualquier momento dentro de los límites aceptables. De forma deseable, la turbina eólica también se puede controlar para dar cuenta de las variaciones locales rápidas en la velocidad del viento (las denominadas ráfagas de viento), y para tener en cuenta los cambios dinámicos en las cargas sobre las palas individuales debidos, por ejemplo, al paso de la torre o a la velocidad del viento real que varía con la distancia al suelo (el perfil del viento).

- 15 Para este propósito, se recogen y se monitorizan varios parámetros por los controladores en una turbina eólica, tales como, por ejemplo, la velocidad y el sentido del viento actual, la cizalladura y la turbulencia del viento, la velocidad rotacional del rotor, el generador, el ángulo de paso de cada pala, el ángulo de guiñada, información sobre el sistema de red, y parámetros medidos (por ejemplo, tensiones o vibraciones) a partir de los sensores dispuestos en las palas, la góndola o en la torre.

- 20 En base a estos y siguiendo una estrategia de control, se determinan los parámetros de control óptimos de la turbina con el fin de lograr un resultado óptimo bajo las condiciones dadas. Los procedimientos de control del rendimiento actual, y de este modo de la producción de potencia y la situación de carga de la turbina eólica, incluyen, por ejemplo, el cabeceo de las palas, el ajuste de cualquier dispositivo aerodinámico activo diferente para cambiar las superficies aerodinámicas de las palas tales como aletas o medios de generación de vórtices, el ajuste de la potencia y/o el ajuste de la velocidad rotacional del rotor.

- 25 Existen múltiples estrategias o formas de control para que los controladores interaccionen con la turbina eólica, y en las turbinas eólicas modernas pueden ser muy complejos, implicando varios controladores dispuestos en diferentes partes de la turbina e interaccionando para determinar y actualizar continuamente los valores óptimos de los parámetros de control. A menudo, las estrategias de control se pueden basar en cientos de parámetros recogidos y determinados para tratar de tener en cuenta todas las eventualidades y cubrir tanto los escenarios de funcionamiento comunes como los más raros y extremos.

Por ejemplo, el documento WO2008/131776 divulga una estrategia de control durante velocidades de viento altas y el documento WO2009/016020 divulga un sistema de monitorización de turbina eólica.

- 35 Sin embargo, incluso para sistemas de control muy avanzados y sofisticados, todavía se puede producir un control imperfecto o inadecuado debido, por ejemplo, a errores de sensor que proporcionan datos incorrectos al sistema de control, o debido a escenarios de funcionamiento no previstos o no cubiertos por las estrategias de control aplicadas. Dicho control imperfecto en algunas situaciones de control y climáticas, puede dar como resultado cargas muy altas e inaceptables en algunos de los componentes de las turbinas eólicas, por ejemplo, en la torre debido a un cabeceo no deseable de una o más de las palas, o en los engranajes debido a ajustes erróneos de la potencia. Dichas cargas pueden ser de tamaños considerables y, en el peor escenario posible en las situaciones extremas, pueden dar lugar a un daño fatal de la turbina. Independientemente de que la probabilidad de que surjan dichas situaciones extremas pueda ser mínima, las posibles implicaciones son inaceptables, lo que crea la necesidad de obtener procedimientos de control a prueba de fallos que pueden evitar estas eventualidades posiblemente raras sino extremas.

Descripción de la invención

- 45 Por lo tanto, es un objetivo de los modos de realización de la presente invención superar o al menos reducir parte o todas las desventajas descritas anteriormente de los procedimientos de control conocidos para las turbinas eólicas proporcionando un procedimiento de control que reduce el riesgo de situaciones de carga extremas debidas a variaciones no deseables en los parámetros de control.

- 50 Es otro objetivo de los modos de realización de la invención proporcionar una estrategia de control que pueda ser rápida y simple para implementar en las estrategias de control existentes y aún eficaces.

De acuerdo con la invención, esto se obtiene por un procedimiento de control de una turbina eólica, que comprende las etapas de determinar una señal de control para un parámetro controlable de la turbina eólica, repetir la etapa de determinar la señal de control a etapas de tiempo sucesivas y almacenar un historial de control que incluye uno o más valores de control respectivos derivados de o incluidos en señales de control pasadas. Además, el procedimiento

comprende el uso de los valores de control almacenados en el historial de control para determinar un parámetro de alerta para el parámetro controlable, en el que el parámetro de alerta es una función de las variaciones de las señales de control con el tiempo. A continuación, la turbina eólica se controla de acuerdo con la señal de control más reciente sólo si el parámetro de alerta está por debajo de un valor umbral de alerta y de acuerdo con una estrategia de control modificada si el parámetro de alerta está por encima del valor umbral de alerta.

Como se menciona brevemente en la introducción, el parámetro controlable puede comprender, por ejemplo, el cabeceo individual o colectivo de las palas, la guiñada, o conicidad del rotor, la velocidad rotacional del rotor, la potencia, la velocidad del generador, o algunos parámetros de ajuste para cualquier dispositivo aerodinámico activo diferente para cambiar las superficies aerodinámicas de las palas tales como aletas o medios de generación de vórtices.

El procedimiento de control de acuerdo con la invención comprende, por tanto, una estrategia de supervisión de la señal de control para evitar situaciones de carga extremas de una turbina eólica, en la que se supervisan continuamente las señales de control de un controlador y se registran los cambios en las señales de control de cada muestra o etapa de tiempo a una previa. Si el cambio en la señal de control está por encima de un cierto límite para un número predefinido de etapas de tiempo en una serie, la turbina se controla de forma diferente, por ejemplo, deteniéndose.

El procedimiento de control obtenido de este modo es ventajoso porque actúa como un sistema a prueba de fallos que recoge de una forma simple aunque eficaz grandes cambios o variaciones en el control que se vuelven a producir, que son no deseables ya que dichos cambios o fluctuaciones pueden dar lugar de otro modo a situaciones de carga extremas en diferentes componentes de la turbina eólica tales como la torre, las palas, el generador, los engranajes, etc. En los peores escenarios posibles dichas cargas extremas pueden dar como resultado un daño fatal de la turbina eólica, como por ejemplo, dar como resultado en última instancia la rotura de la torre, y por tanto, son inaceptables. La supervisión de acuerdo con la estrategia de control garantiza de una manera simple aunque eficaz que el riesgo de situaciones de carga extremas se reduzca en gran medida o incluso se evite anulando el control decidido de otro modo, y siguiendo en su lugar una estrategia de control modificada en el caso de múltiples cambios demasiado altos en el parámetro de control de interés, por ejemplo, reduciendo la potencia o apagando la turbina eólica por completo.

Esto se logra porque el procedimiento de control tiene en consideración cambios históricos de las señales de control y deduce de éstos el parámetro de alerta en base al que se puede cambiar la siguiente estrategia de control.

Ya que el procedimiento de control sólo afecta o interviene en el control previsto de otro modo de la turbina eólica en los raros casos de múltiples cambios demasiado altos en el parámetro de control de interés, el procedimiento de control es rápido y fuerte. Además, el procedimiento de control es simple y económico de implementar y se puede implementar en estrategias de control existentes como complemento.

Además, ya que la supervisión se realiza sobre las señales de referencia de control y no en base a parámetros medidos, cualquier intervención se realiza antes de que se apliquen las señales de control críticas, evitando de este modo las cargas extremas que de otro modo resultan posiblemente del control previsto.

Por otra parte, el algoritmo de control puede que no sea demasiado sensible en el sentido de que sólo reacciona a variaciones grandes de las señales de control que se producen repetidamente. De esta forma, la estrategia de control no se cambia simplemente debido sólo a unas pocas (por debajo del valor umbral de alerta) desviaciones en las señales de control.

Los valores de control almacenados en el historial de control de acuerdo con la invención, y a partir de los que se determina a continuación el parámetro de alerta, pueden comprender las propias señales de control de cada etapa de tiempo. De forma alternativa, o además de esto, la variación de las señales de control de una etapa de tiempo a otra etapa de tiempo se puede almacenar como valores de control. Otra posibilidad es la de almacenar el valor actual del parámetro de alerta en cada etapa de tiempo (opcionalmente como una entrada en un registro), junto con la señal de control aceptable más reciente.

Al almacenar sólo el parámetro de alerta y la señal de control aceptable más reciente, se obtiene un procedimiento de control muy simple, rápido y fuerte, con mínimos requisitos de almacenamiento y cálculos en cada etapa de tiempo. Al almacenar la información sobre las señales de control en el historial de control se obtiene la posibilidad de dejar que el parámetro de alerta sea una función más compleja de las señales de control en el historial de control, tal como, que dependa, por ejemplo, de las segundas derivadas de las señales de control. El parámetro de alerta puede ser una función sólo de las variaciones de las señales de control con el tiempo o, en otro modo de realización, puede ser una función de la propia señal de control, por ejemplo, en la referencia de paso presente. El parámetro de alerta puede depender además de otros parámetros tales como, por ejemplo, la velocidad del viento, señales de aceleración, cargas medidas (en especial cargas de pala), ángulos de paso o la producción de potencia.

La señal de control puede comprender, en un modo de realización de la invención, una señal de referencia de potencia o par de torsión para controlar la velocidad rotacional del rotor de turbina eólica cambiando la potencia o el par de torsión. De este modo, las variaciones sucesivas grandes no deseables en las señales de potencia se pueden evitar

eficazmente reduciendo el riesgo de cargas grandes de otro modo posibles principalmente en los engranajes, el generador y en los sistemas eléctricos de la turbina eólica.

La señal de control puede comprender, en un modo de realización de la invención, una señal de referencia de paso para controlar el cabeceo de las palas de la turbina eólica. La señal de referencia de paso puede comprender el valor de la referencia de paso para cada pala de turbina eólica individual y/o el valor de la referencia de paso colectiva, de modo que el procedimiento de control se pueda realizar en cada una de las referencias de paso de pala individuales y/o en la mediana (la referencia de paso colectiva) de estas. Al usar las señales de referencia de paso en la supervisión de control en lugar de los ángulos de paso medidos reales de las palas, se obtiene que se modifica el control de la turbina eólica (por ejemplo, se detiene) antes de que se lleven a cabo las señales de paso críticas en lugar de sólo reaccionar para valores de paso ya ejecutados. De esta forma, se aplica más pronto la modificación del control y se evitan posibles cargas extremas sobre algunos de los componentes de la turbina eólica. Las variaciones sucesivas grandes en el paso pueden dar como resultado cargas grandes no deseables o incluso fatales especialmente en la torre y en las palas, cargas que, en el peor escenario posible, pueden ser tan grandes que pueden dar como resultado la rotura de la torre.

La estrategia de control modificada puede comprender, en un modo de realización de la invención, la detención de la turbina eólica de este modo las variaciones grandes no deseables en las señales de control se detienen eficazmente y de forma simple y se evita cualquier carga extrema. La detención se puede lograr, por ejemplo ralentizando gradualmente o en etapas la turbina hasta que se para, o cabeceando las palas completamente a resguardo del viento.

Además, la estrategia de control modificada puede comprender, en otro modo de realización de la invención, el control de la turbina eólica de acuerdo con la señal de control anterior a la señal de control más reciente, de este modo se controla la turbina eólica de un modo seguro y se evitan eficazmente las variaciones grandes no deseables en las señales de control sin influenciar en gran medida la productividad de la turbina eólica.

En un modo de realización de la invención, el valor umbral de alerta es una constante predefinida, puede depender del valor de control más reciente y/o puede depender de la velocidad del viento.

El valor umbral de alerta se puede elegir de forma diferente dependiendo de los parámetros que se van a controlar y reflejando lo rápido que es el sistema para realizar en realidad el cambio en el parámetro. A modo de ejemplo, el sistema de paso en muchas turbinas eólicas puede ser un sistema de reacción relativamente lenta. Aquí, el tiempo necesario para cabecear las palas puede ser considerablemente mayor que las etapas de tiempo entre muestras sucesivas del controlador de paso. Aquí, las palas a menudo no han alcanzado el ángulo de paso de acuerdo con la señal de paso antes de que se reciba una nueva señal de paso. Otros sistemas de control, tales como el control de potencia, son mucho más rápidos. Por lo tanto, el valor umbral de alerta se puede elegir, para algunos parámetros controlables (como, por ejemplo, el paso) relativamente alto, tal como, por ejemplo, de entre 3-10, lo que permite de manera correspondiente un número de variaciones sucesivas grandes en el historial de control antes de que se aplique una estrategia de control modificada, mientras que el valor umbral de alerta para el control de potencia puede ser relativamente bajo, tal como, por ejemplo, de entre 2-5, lo que permite de manera correspondiente pocos cambios sucesivos grandes antes de que el procedimiento de control reaccione cambiando la estrategia de control.

El valor umbral de alerta puede ser opcionalmente una función de los otros parámetros, tales como, por ejemplo, la velocidad del viento actual, un factor de turbulencia, medidas de aceleración en la góndola o las palas, las cargas de las palas, la producción de potencia, la velocidad del generador, o el paso actual de las palas, de este modo se obtiene que el procedimiento de control, en algunas situaciones, reaccione, más rápidamente a variaciones grandes en las señales de control. De esta forma, se puede aplicar una estrategia de control más conservadora en situaciones en las que las consecuencias de las variaciones grandes sean más graves, por ejemplo, a velocidades del viento mayores o si las palas se cabecean hacia fuera alrededor de 15-20° grados.

De acuerdo con un modo de realización de la invención, el historial de control puede comprender al menos los tres valores de control más recientes, caso en el que los cambios históricos en las últimas al menos tres etapas de tiempo previas se tienen en cuenta en la estrategia de control proporcionando de este modo un control más fuerte. Por otra parte, no se necesita almacenar el historial completo de los valores de control, sino más bien sólo relativamente pocos valores de control previos, lo que es ventajoso debido a consideraciones de almacenamiento.

De acuerdo con otro modo de realización de la invención, las variaciones de las señales de control se determinan como las diferencias entre señales de control sucesivas, de este modo los cambios de una etapa de tiempo a otra etapa de tiempo se tienen en cuenta en el procedimiento de control.

Las variaciones de las señales de control se pueden evaluar, en otro modo de realización, con relación a un límite de cambio de señal superior predefinido $\Delta\theta_{pos}$ y a un límite de cambio de señal inferior predefinido $\Delta\theta_{neg}$. Estos límites de cambio de señal se fijan como límites que diferencian los cambios en las señales de control considerados aceptables de los considerados demasiado grandes si tienen lugar demasiadas veces en etapas de tiempo sucesivas. Los cambios en las señales de control pueden ser, en algunos casos, más críticos si se producen en un sentido en lugar de

en el otro, lo que se puede reflejar definiendo los límites de cambio de señal superior e inferior numéricamente de tamaño diferente.

El procedimiento de control de acuerdo con la invención puede comprender además las etapas de determinar una señal de control aceptable más reciente como la señal de control más reciente en la secuencia de tiempo que se cambia ni por encima del límite de cambio de señal superior $\Delta\theta_{pos}$ ni por debajo del límite de cambio de señal inferior $\Delta\theta_{neg}$ con relación a la señal de control aceptable previa, y determinar las variaciones de una señal de control como la diferencia entre la señal de control y la señal de control aceptable más reciente a esa etapa de tiempo.

La señal de control aceptable se determina, de esta forma, como la última señal de control en la secuencia de tiempo que no se cambia más allá de los límites de cambio de señal superior e inferior $\Delta\theta_{pos}$ y $\Delta\theta_{neg}$ con relación a la señal de control aceptable previa.

Al determinar las variaciones de las señales de control con relación a la última señal de control aceptable en lugar de siempre con relación a la señal de control previa, las situaciones de la señal de control que se cambian más allá de los límites de cambio una vez y después se alejan lentamente de ahí sin volver a un valor aceptable se pueden controlar y se puede reaccionar a las mismas.

El procedimiento de control puede comprender, en otro modo de realización, las etapas de determinar la diferencia entre la señal de control más reciente y la señal de control aceptable más reciente, e incrementar el parámetro de alerta un nivel si esta diferencia cae fuera del intervalo del límite de cambio de señal inferior $\Delta\theta_{neg}$ al límite de cambio de señal superior $\Delta\theta_{pos}$ o inicializar el parámetro de alerta si dicha diferencia entra dentro del intervalo del límite de cambio de señal inferior $\Delta\theta_{neg}$ al límite de cambio de señal superior $\Delta\theta_{pos}$.

De este modo, el parámetro de alerta, de forma sencilla, refleja el número de cambios inaceptables sucesivos en las señales de control más recientes. De esta forma, no es necesario almacenar las señales de control previas en el historial de control ya que las variaciones de las mismas se evalúan en una base de etapa por etapa, proporcionando un algoritmo de control eficaz y simple sólo con requisitos de almacenamiento bajos.

Todo el procedimiento de control se puede realizar, en un modo de realización, en el mismo controlador, tal como el controlador de buje o el controlador superior. De forma alternativa, las diferentes etapas del procedimiento se pueden realizar en diferentes controladores. En un modo de realización de la invención, las señales de control se reciben desde un controlador de buje, de este modo las señales de control (por ejemplo, las referencias de paso) se pueden monitorizar en cada muestra. En otro modo de realización, la señal de control se determina en un primer controlador, mientras que las determinaciones de las variaciones de las señales de control se realizan en un segundo controlador separado del primero.

Al implementar la estrategia de supervisión en un controlador diferente del controlador de buje, este segundo controlador puede realizar la estrategia de control de acuerdo con la invención, evitar el controlador de buje, y apagar la turbina incluso en el raro caso de que haya fallado el controlador de buje. De este modo, se obtiene una mayor seguridad.

Otro aspecto de la invención se refiere a un sistema de control para una turbina eólica que se configura para realizar las etapas de determinar una señal de control para un parámetro controlable de la turbina eólica; repetir la etapa de determinar la señal de control en etapas de tiempo sucesivas, y almacenar un historial de control que incluye uno o más valores de control respectivos derivados de o incluidos en señales de control pasadas; usar los valores de control almacenados en el historial de control para determinar un parámetro de alerta para dicho parámetro controlable, siendo el parámetro de alerta una función de las variaciones de las señales de control con el tiempo; controlar la turbina eólica de acuerdo con la señal de control más reciente sólo si el parámetro de alerta está por debajo de un valor umbral de alerta, y controlar la turbina eólica de acuerdo con una estrategia de control modificada si el parámetro de alerta está por encima del valor umbral de alerta.

La invención se refiere además a una turbina eólica que comprende un sistema de control de este tipo. Las ventajas del sistema de control y de la turbina eólica anteriores son como se describe en relación con el procedimiento.

En un modo de realización, la turbina eólica de acuerdo con lo anterior puede comprender un primer controlador en el que se realiza la etapa de determinar la señal de control para el parámetro controlable de la turbina eólica, y un segundo controlador configurado para recibir la señal de control desde el primer controlador y para determinar el parámetro de alerta. Al disponer la supervisión de las señales de control en otro controlador que el controlador que determina las señales de control, se obtiene que la supervisión es independiente de si el primer controlador ha fallado o no. Por tanto, el segundo controlador podría evitar el primer controlador y reducir la potencia o apagar la turbina eólica en caso necesario.

Breve descripción de los dibujos

A continuación, se describirán diferentes modos de realización de la invención con referencia a los dibujos, en los que:

La fig. 1 muestra una visión general de la estrategia de control en la supervisión de las señales de paso de acuerdo con un modo de realización de la invención como se implementa en una turbina eólica,

La fig. 2 ilustra un ejemplo de un historial de señal de control y la estrategia de control de acuerdo con un modo de realización de la invención,

5 La fig. 3 es un diagrama de flujo que ilustra un modo de realización de la estrategia de control, y

Las fig. 4 y 5 ilustran dos ejemplos de diferentes historiales de señales de control diferentes y la estrategia de control resultante de los mismos.

Descripción detallada de los dibujos

La fig. 1 da una visión general de cómo se puede implementar, en un modo de realización, el procedimiento de control de supervisión de los parámetros de control críticos en el sistema de control de una turbina eólica. En el ejemplo mostrado, el parámetro controlable de la turbina eólica que se está supervisando es el paso de la pala y por tanto, las señales de control comprenden la referencia de paso colectivo θ_{RefCol} 100, que es un parámetro de paso común para todas las palas y que es igual a la media de los parámetros de referencia de paso individual para palas individuales, θ_{RefA} , θ_{RefB} , y θ_{RefC} , 101. La referencia de paso colectivo θ_{RefCol} 100 se determina en el controlador superior 103. Al usar esta referencia de paso colectivo 100 y en base a cálculos de inclinación-guiñada TYC, 105, los parámetros de referencia de paso para las palas individuales, θ_{RefA} , θ_{RefB} , y θ_{RefC} , 101 se determinan en el controlador de buje 104. Tanto el controlador superior 103 como el controlador de buje 104 pueden comprender otros bloques controladores 106, 107, además de los bloques 100, 105 que realizan los cálculos de paso colectivo y los cálculos de inclinación-guiñada. A continuación, se realiza la estrategia de control de acuerdo con un modo de realización de la invención en los parámetros de referencia de paso en el bloque controlador 108 en el controlador de buje 104, donde los parámetros de alerta, 110 se determinan como función de las señales de control presentes y pasadas y su variación en el tiempo. Las señales de control determinadas de otro modo que comprenden las referencias de paso colectivo e individual 100, 101 sólo se cambian o se modifican si el parámetro de alerta A, 110 está por encima de un cierto valor umbral de alerta, caso en el que se activa una alarma y la turbina eólica, de acuerdo con el presente modo de realización de la invención, se detiene, 111.

De otro modo, si el valor umbral de alerta no se excede, las señales de control que incluyen las referencias de paso (que se pueden haber convertido a puntos fijos de válvulas de paso 114 ya en el controlador de buje 104) se envían al sistema de paso 109 que comprende el sistema de válvulas de paso 112. A continuación, esto se hace funcionar de acuerdo con las señales de control. En el caso en el que las válvulas de emergencia 113 en el sistema de paso 109 ya estén activas (si, por ejemplo, se está aplicando una variación de paso de emergencia), el sistema no activará ninguna alarma independientemente del tamaño del parámetro de alerta A, 110 como se indica por la flecha 115.

Un ejemplo de una señal de historial de control y la estrategia de control resultante de la misma de acuerdo con un modo de realización de la invención se ilustra en las figuras 2A, B y C. La curva en la figura 2A muestra un historial de control de una señal de control θ , 200 que puede ser o puede comprender, por ejemplo, un parámetro de referencia de paso. Las señales de control determinadas en diferentes muestras o etapa de tiempo se muestran como una función del número de muestras o del tiempo, t , 201. En la figura 2B se muestran las variaciones de las señales de control $\Delta\theta$, 202. La variación se determina, en este modo de realización, como la diferencia entre una señal de control θ en una muestra o etapa de tiempo y la señal de control aceptable última o más reciente θ_{valid} anterior a esa etapa de tiempo. Una señal de control se considera aceptable o válida, si la señal de control no ha cambiado más allá de los límites de cambio superior e inferior predefinidos $\Delta\theta_{pos}$ y $\Delta\theta_{neg}$, respectivamente, con relación a la señal de control aceptable anterior. Las variaciones en este modo de realización, por tanto, son iguales a la diferencia de una señal de control a la siguiente, siempre que la señal de control no cambie excesivamente. En un modo de realización de la invención, los límites de cambio superior e inferior pueden ser variables y pueden ser las mismas o diferentes funciones en la presente o una o más señales de control anteriores. De esta forma, pueden ser aceptables variaciones mayores dependiendo de lo que cambie la señal de control.

En el presente ejemplo y como se puede observar de las señales de control en la figura 2A y las variaciones calculadas en la figura 2B, las primeras cuatro señales de control (marcadas con cruces) son todas aceptables, ya que no se han cambiado ni por encima de los límites de cambio superior $\Delta\theta_{pos}$, 203 ni por debajo de los límites de cambio inferior $\Delta\theta_{neg}$, 204. La señal de control marcada 205 en la figura 2A es, por lo tanto, la última señal de control aceptable θ_{valid} para las muestras o etapas de tiempo mostradas. Cada vez que la variación de la señal de control excede los límites de cambio superior o inferior, $\Delta\theta_{pos}$ o $\Delta\theta_{neg}$ los parámetros de alerta, 110 se incrementan un nivel, como se representa en la figura 2C. Cuando el parámetro de alerta alcanza o excede un determinado valor umbral de alerta T , 206, que en el presente ejemplo se sitúan en 3, la presente estrategia de control se anula, y la turbina eólica ya no se controla de acuerdo con las señales determinadas sino más bien de acuerdo con una estrategia de control modificada. Dicha estrategia de control modificada puede comprender la detención de la turbina eólica o el mantenimiento del control como se determina en una muestra anterior, por ejemplo, sin cambiar los ángulos de paso. Como se ilustra en las dos curvas más inferiores en la figura 2C, además el procedimiento de control puede realizar un seguimiento sobre cuántas veces se han excedido los límites de cambio superior e inferior $\Delta\theta_{pos}$, 203; $\Delta\theta_{neg}$, 204, respectivamente, con fines estadísticos, y proporcionar información sobre qué cambios en las señales de control son los predominantes.

El tamaño del valor umbral de alerta refleja cuántas señales de control muy desviadas son aceptables sin tener que hacer reaccionar y cambiar la estrategia de control. Este parámetro también depende del tipo de parámetro de control que se está controlando. Por ejemplo, en el caso del control de paso, el sistema de paso es un sistema de reacción relativamente lenta y, por lo tanto, las palas a menudo pueden que no alcancen el ángulo de paso deseado dado por la señal de referencia de paso antes de que se realice una nueva muestra de control y se envíe una nueva señal de control al sistema de paso. Por lo tanto, puede que tres o incluso más variaciones sucesivas relativamente grandes en las señales de control de referencia de paso no sean críticas para la turbina, ya que las muestras se realizan en una escala de tiempo mucho más rápida que el propio cabeceo. Por otra parte, el control de potencia puede ser un sistema de reacción rápida. Por lo tanto, los cambios grandes en las señales de control son más cruciales para el control de la potencia, lo que después se puede reflejar en el procedimiento de control de acuerdo con la invención fijando un parámetro de valor umbral relativamente bajo, de este modo sólo se permite que tengan lugar relativamente pocas variaciones grandes en las señales de control antes de que se aplique una estrategia de control modificada.

El procedimiento de control de acuerdo con la invención se ilustra etapa por etapa en el diagrama de flujo en la figura 3 y como se aplica a un parámetro de control de paso. Como antes, el principio es, sin embargo, el mismo para los otros parámetros controlables tal como para señales de control que comprenden la referencia de potencia, etc. En cada etapa de tiempo y para cada muestra, se recibe una nueva señal de control θ de otro controlador o se determina localmente, 300. A continuación, se determina la diferencia $\Delta\theta$ entre esta señal de control más reciente θ y la señal de control aceptable más reciente $\Delta\theta_{valid}$, $\Delta\theta = \theta - \theta_{valid}$ en la etapa 301, y se evalúa con relación a los límites de cambio superior e inferior $\Delta\theta_{pos}$, $\Delta\theta_{neg}$, respectivamente, 302. En el caso en el que la variación de la señal de control entre dentro de estos límites, $\Delta\theta_{neg} < \Delta\theta < \Delta\theta_{pos}$, se inicializa el parámetro de alerta A, 303, la señal de control se vuelve la señal de control aceptable más reciente, $\theta_{valid} = \theta$, 304, y se controla la turbina eólica de acuerdo con la señal de control θ 305 sin ninguna intervención.

Por otra parte, si el cambio en la señal de control cae fuera de los límites de cambio superior e inferior, $\Delta\theta_{neg} > \Delta\theta$, o $\Delta\theta < \Delta\theta_{pos}$, entonces el parámetro de alerta A se incrementa un nivel, 306. No se toman acciones si el parámetro de alerta es todavía menor que el valor umbral de alerta T, 307, caso en el que todavía se controla la turbina eólica de acuerdo con la señal de control θ , 305 sin ninguna modificación. En el caso en el que se excede el valor umbral de alerta, se anula la presente estrategia de control y la turbina eólica se controla de acuerdo con una estrategia de control modificada, 308. La estrategia de control modificada puede implicar, como se menciona previamente, por ejemplo, detener la turbina eólica, ralentizar la turbina eólica, o continuar con el control de la turbina eólica de acuerdo con la señal de control previa o una incluso anterior.

El procedimiento de control puede implicar el uso de señales de control como valores de control que se van a almacenar en cada etapa de tiempo y a partir de lo que se determina después el parámetro de alerta como una función de un número de las señales de control más recientes. De forma alternativa, o además de esto, la variación de las señales de control de una etapa de tiempo a otra etapa de tiempo se puede almacenar los como valores de control. Otra posibilidad es la de simplemente almacenar el parámetro de alerta actual, opcionalmente como una entrada en un registro, y la señal de control aceptable más reciente que se actualiza continuamente como se describe anteriormente. Al almacenar la información sobre las señales de control en el historial de control se obtiene la posibilidad de dejar que el parámetro de alerta sea una función más compleja de las señales de control en el historial de control, tal como, que dependa, por ejemplo, de las segundas derivadas de las señales de control. Al almacenar sólo el parámetro de alerta y la señal de control aceptable más reciente, se obtiene un procedimiento de control muy simple, rápido y fuerte, con mínimos requisitos de almacenamiento y cálculos en cada etapa de tiempo.

Las figuras 4 y 5 muestran diferentes ejemplos de los valores del historial de control y la estrategia de control resultante. Similar a la figura 2A, un historial de control de señales de referencia de control como una función del número de muestra y en etapas de tiempo sucesivas se representa en la figura 4A y 5A, del que sus variaciones se representan en las figuras 4B y 5B y las entradas resultantes de las mismas en el registro de alerta y la evolución del parámetro de alerta en las figuras 4C y 5C.

El historial de control en la figura 4 es un ejemplo de una serie de señales de control que cambia demasiado con relación a ambos límites de cambio superior e inferior elegidos 203, 204, pero se permite realizar varias veces sin activar la alarma ni activar la estrategia de control modificada ya que las señales de control no continúan desviándose demasiado o alejándose de las señales de control aceptables, 205. Como se puede observar de la figura 4 C, el parámetro de alerta A 110 no alcanza ni excede el valor umbral de alerta T, 206.

Este no es el caso del historial de control mostrado en la figura 5A. Esta serie de señales de control representa una serie de señales que fluctúan de una etapa de tiempo a otra etapa de tiempo. Los límites de cambio superior e inferior 203 y 204 se exceden dos veces en una serie pero la siguiente señal de control 501 es aceptable lo que provoca que se inicialicen los parámetros de alerta, 110. Sin embargo, los siguientes tres cambios en las señales de control de nuevo caen fuera de los límites de cambio lo que provoca que el parámetro de alerta alcance el valor umbral de alerta y que la turbina eólica a partir de entonces se controle de acuerdo con una estrategia de control modificada.

Aunque se han descrito los modos de realización preferentes de la invención, se debe entender que la invención no está limitada y se pueden realizar modificaciones sin apartarse de la invención. El alcance de la invención se define por

las reivindicaciones adjuntas, y se pretende que todos los dispositivos que entran dentro del significado de las reivindicaciones, de forma literal o bien por equivalencia, estén englobados en las mismas.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento de control de una turbina eólica, que comprende las etapas de:
 - determinar una señal de control para un parámetro controlable de la turbina eólica;
 - repetir la etapa de determinar la señal de control en etapas de tiempo sucesivas, y almacenar un historial de control que incluye uno o más valores de control respectivos derivados de o incluidos en señales de control pasadas;
 - usar los valores de control almacenados en el historial de control para determinar un parámetro de alerta para dicho parámetro controlable, siendo el parámetro de alerta una función de las variaciones de las señales de control con el tiempo;
 - controlar la turbina eólica de acuerdo con la señal de control más reciente sólo si el parámetro de alerta está por debajo de un valor umbral de alerta, y
 - controlar la turbina eólica de acuerdo con una estrategia de control modificada si el parámetro de alerta está por encima del valor umbral de alerta.
2. Un procedimiento de control de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la señal de control comprende una señal de referencia de potencia o par de torsión para controlar la velocidad rotacional del rotor de turbina eólica cambiando la potencia o el par de torsión.
3. Un procedimiento de control de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la señal de control comprende una señal de referencia de paso para controlar el cabeceo de las palas de la turbina eólica.
4. Un procedimiento de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que la estrategia de control modificada comprende la detención de la turbina eólica.
5. Un procedimiento de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que la estrategia de control modificada comprende el control de la turbina eólica de acuerdo con la señal de control anterior a la señal de control más reciente.
6. Un procedimiento de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el valor umbral de alerta es una constante predefinida.
7. Un procedimiento de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el valor umbral de alerta depende del valor de control más reciente.
8. Un procedimiento de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el valor umbral de alerta depende de la velocidad del viento.
9. Un procedimiento de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el historial de control comprende al menos los tres valores de control más recientes.
10. Un procedimiento de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las variaciones de las señales de control se determinan como las diferencias entre señales de control sucesivas.
11. Un procedimiento de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las variaciones de las señales de control se evalúan con relación a un límite de cambio de señal superior predefinido $\Delta\theta_{pos}$ y un límite de cambio de señal inferior predefinido $\Delta\theta_{neg}$.
12. Un procedimiento de control de acuerdo con la reivindicación 11, que comprende además la etapa de
 - determinar una señal de control aceptable más reciente como la señal de control más reciente en la secuencia de tiempo que no se cambia ni por encima del límite de cambio de señal superior $\Delta\theta_{pos}$ ni por debajo del límite de cambio de señal inferior $\Delta\theta_{neg}$ con relación a la señal de control aceptable previa, y
 - determinar las variaciones de una señal de control como la diferencia entre la señal de control y la señal de control aceptable más reciente en esa etapa de tiempo.
13. Un procedimiento de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11-12, que comprende además las etapas de
 - determinar la diferencia entre la señal de control más reciente y la señal de control aceptable más reciente, e
 - incrementar el parámetro de alerta un nivel si dicha diferencia cae fuera del intervalo del límite de cambio de señal inferior $\Delta\theta_{neg}$ al límite de cambio de señal superior $\Delta\theta_{pos}$.

14. Un procedimiento de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11-13, que comprende además las etapas de
 - determinar la diferencia entre la señal de control más reciente y la señal de control aceptable más reciente, e
 - inicializar el parámetro de alerta si dicha diferencia entra dentro del intervalo del límite de cambio de señal inferior $\Delta\theta_{neg}$ al límite de cambio de señal superior $\Delta\theta_{pos}$.
15. Un procedimiento de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3-14, en el que la señal de referencia de paso comprende el valor de la referencia de paso para cada pala individual de turbina eólica.
16. Un procedimiento de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3-15, en el que la señal de referencia de paso comprende el valor de la referencia de paso colectivo.
17. Un procedimiento de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las señales de control se reciben desde un controlador de buje.
18. Un sistema de control para una turbina eólica configurado para realizar las etapas de:
 - determinar una señal de control para un parámetro controlable de la turbina eólica;
 - repetir la etapa de determinar la señal de control en etapas de tiempo sucesivas, y almacenar un historial de control que incluye uno o más valores de control respectivos derivados de o incluidos en señales de control pasadas;
 - usar los valores de control almacenados en el historial de control para determinar un parámetro de alerta para dicho parámetro controlable, siendo el parámetro de alerta una función de las variaciones de las señales de control con el tiempo;
 - controlar la turbina eólica de acuerdo con la señal de control más reciente sólo si el parámetro de alerta está por debajo de un valor umbral de alerta, y
 - controlar la turbina eólica de acuerdo con una estrategia de control modificada si el parámetro de alerta está por encima del valor umbral de alerta.
19. Una turbina eólica que comprende un sistema de control de acuerdo con la reivindicación 18.
20. Una turbina eólica de acuerdo con la reivindicación 19, que comprende
 - un primer controlador en el que se realiza la etapa de determinar la señal de control para el parámetro controlable de la turbina eólica, y
 - un segundo controlador configurado para recibir la señal de control desde dicho primer controlador, y para determinar el parámetro de alerta.

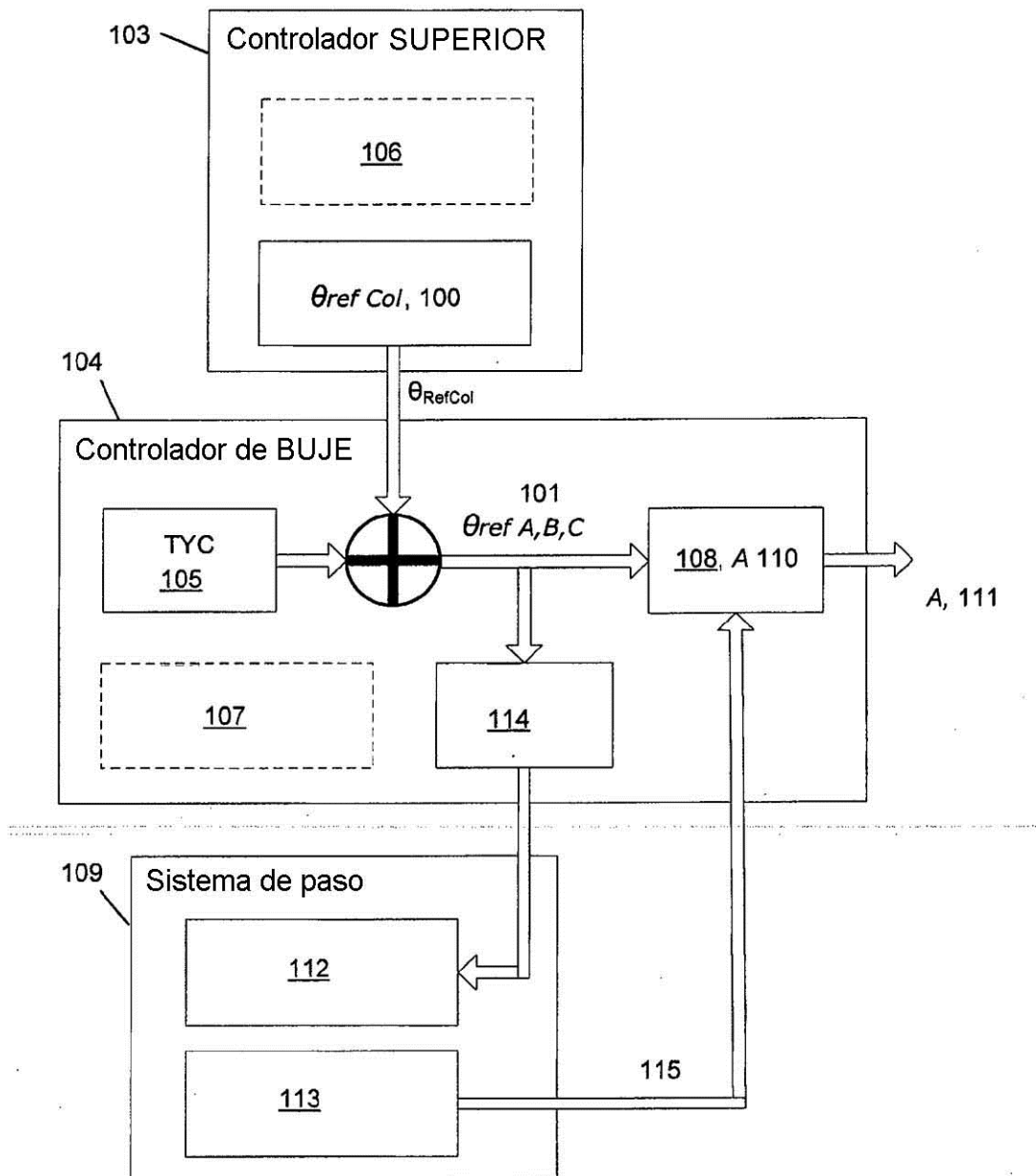


Fig. 1

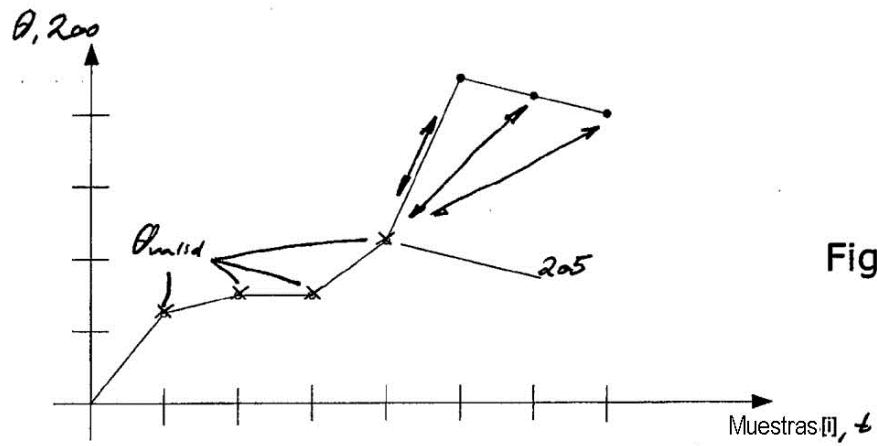


Fig. 2A

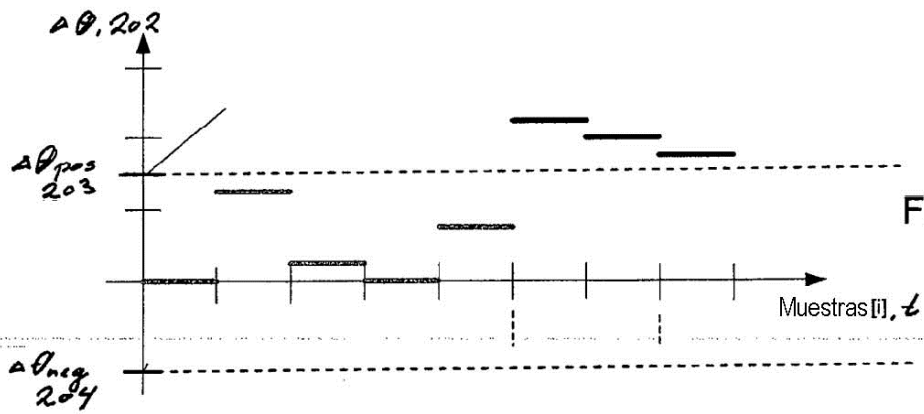


Fig. 2B

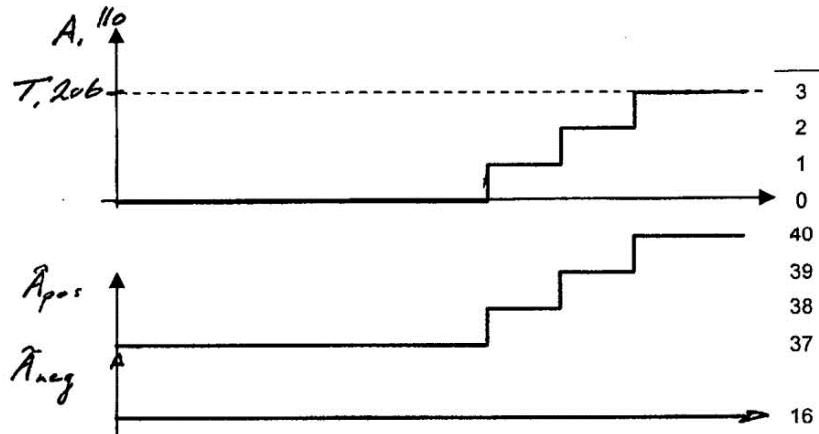


Fig. 2C

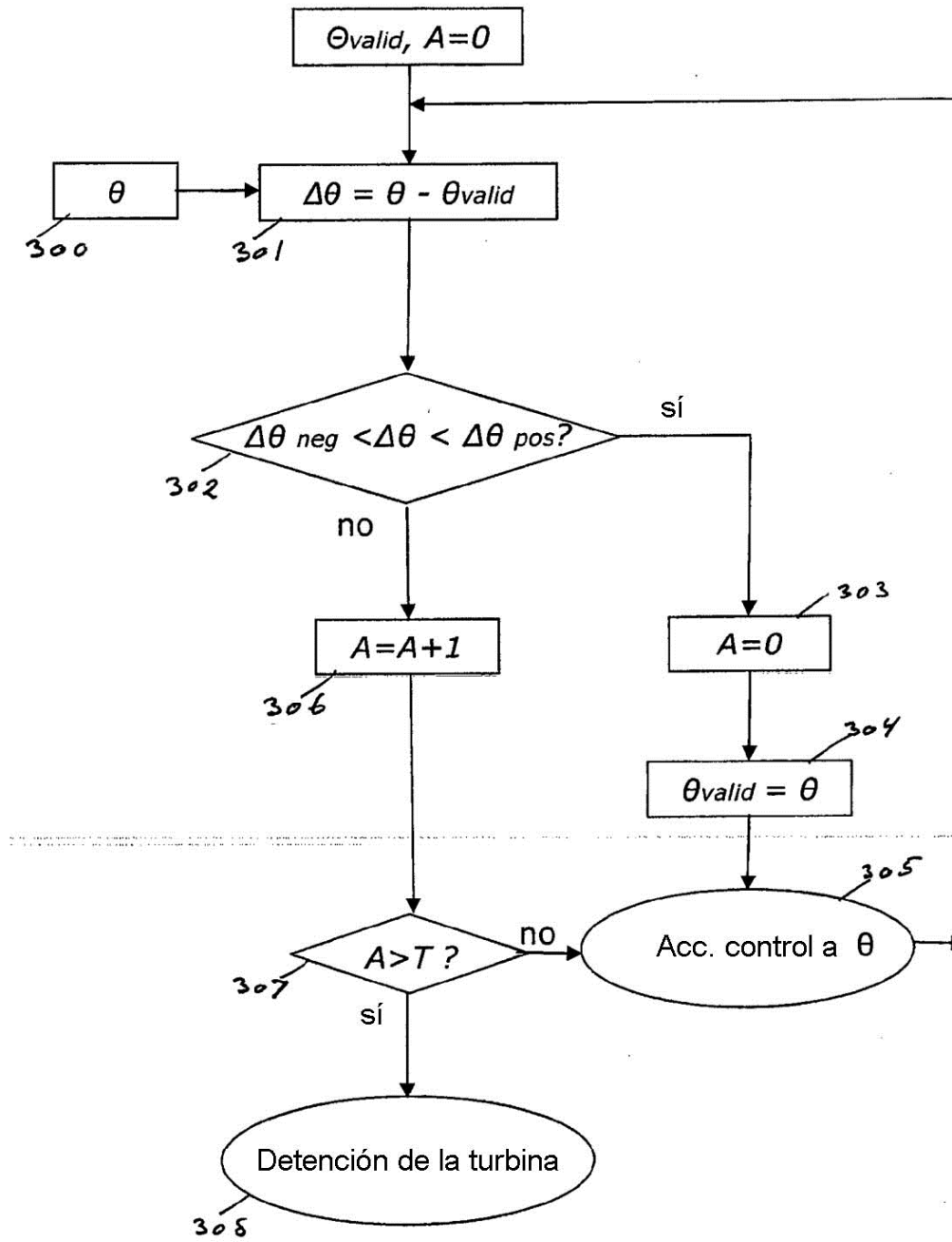
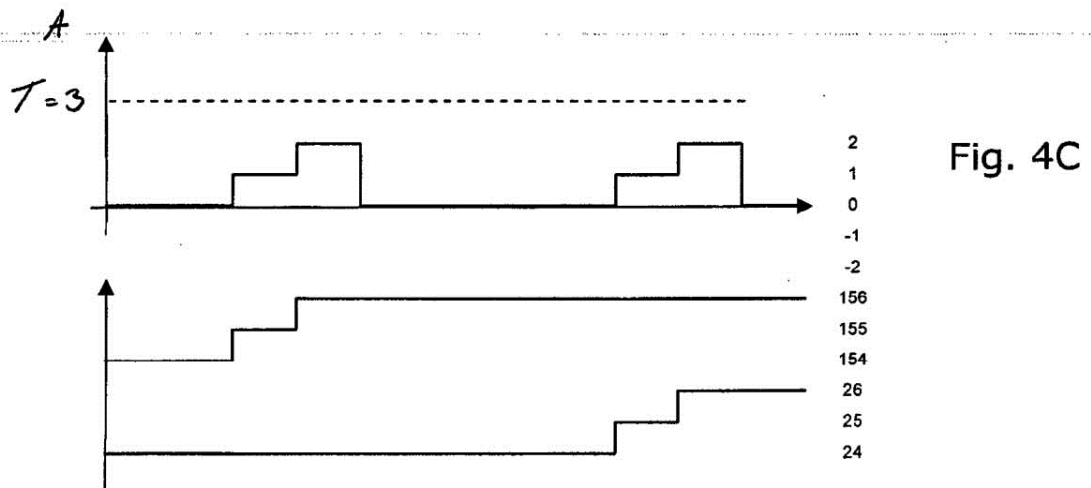
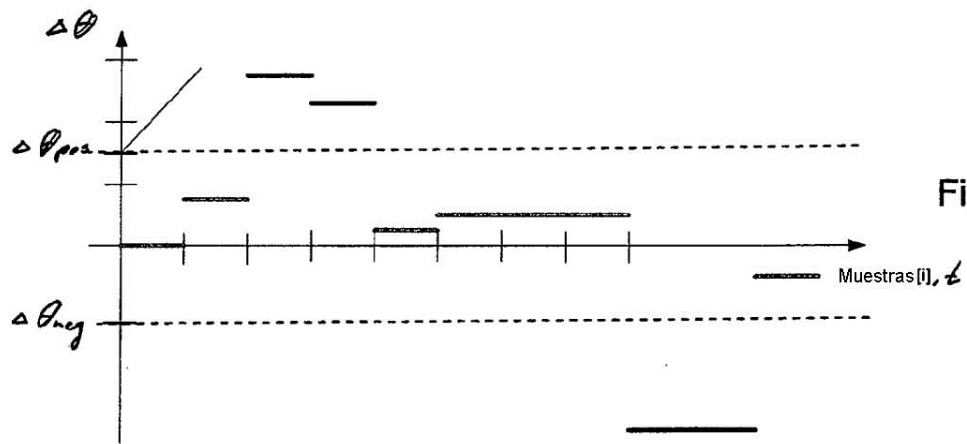
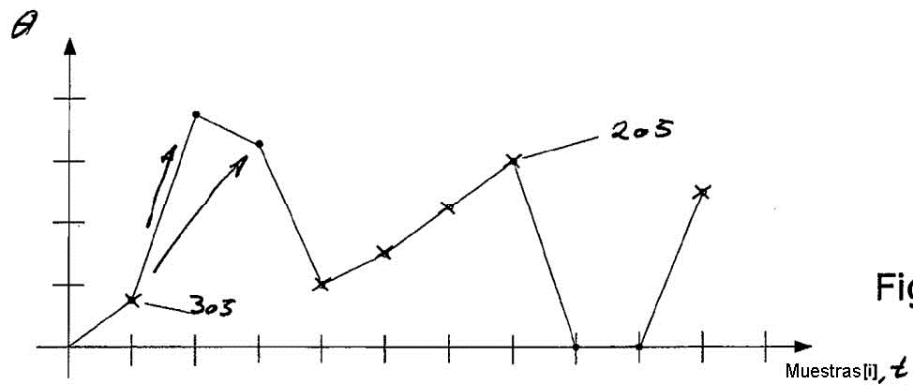


Fig. 3



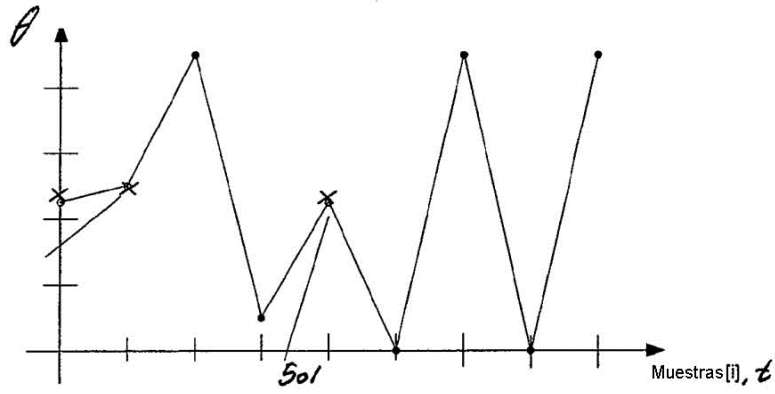


Fig. 5A

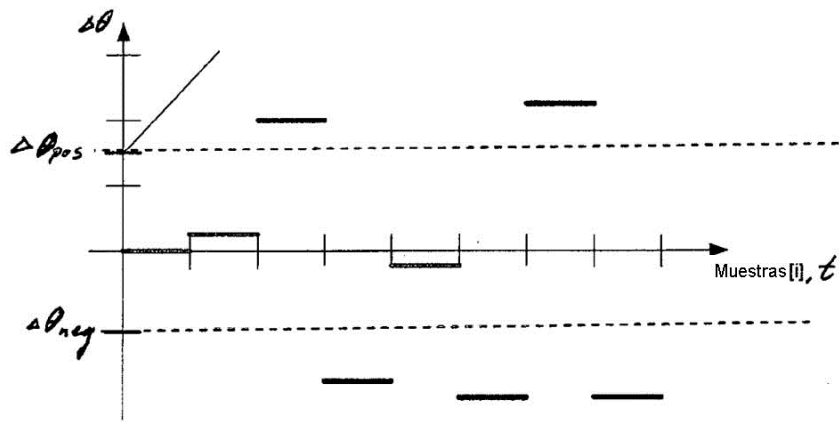


Fig. 5B

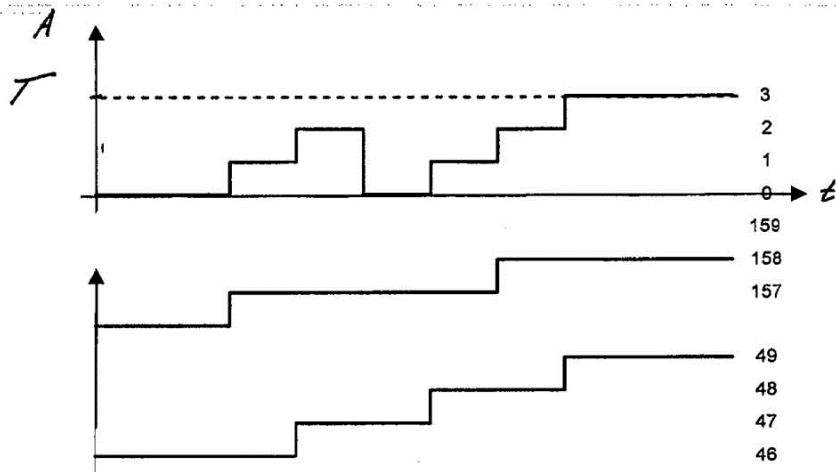


Fig. 5C