(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 553 578**

(51) Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)
F03D 7/04 (2006.01)
F03D 11/04 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **11.07.2008** **E 08758269 (8)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.10.2015** **EP 2167814**

(54) Título: **Control de rotor durante un procedimiento de parada de una turbina eólica**

(30) Prioridad:

14.07.2007 DK 200701047

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.12.2015

(73) Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
HEDEAGER 42
8200 AARHUS, DK

(72) Inventor/es:

RISAGER, LARS y
HAMMERUM, KELD

(74) Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 553 578 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

Control de rotor durante un procedimiento de parada de una turbina eólica

La presente invención se refiere a un método y un dispositivo de control para controlar la regulación de paso de las palas de rotor durante un procedimiento de parada de una turbina eólica.

Antecedentes

Se conoce bien que se regula el paso de las palas de una turbina eólica regulada por pérdida aerodinámica activa o de paso regulado cuando se detiene, hasta una posición de estacionamiento en bandera en la que un borde de la pala se dirige hacia la torre de turbina eólica y el otro borde se dirige en sentido opuesto a la torre, de modo que las fuerzas aerodinámicas del viento sobre las palas no provocarán daño a la turbina eólica. Tales paradas se realizan para mantenimiento de la turbina, en periodos de viento suave y periodos de viento muy intenso así como para una parada de emergencia del funcionamiento de la turbina eólica debido a un mal funcionamiento de la propia turbina, de problemas en la red eléctrica que pueden provocar que la turbina eólica detenga la emisión de potencia activa a la red, tal como una grave reducción de la tensión de red.

Un rápida regulación de paso de las palas puede producir daño a las palas y a la turbina eólica, tal como se describe por ejemplo en la solicitud de patente internacional WO 2006/007838 (Vestas), que da a conocer un método de control de la velocidad de regulación de paso mediante la rápida regulación de paso de las palas hasta una posición en la que la fuerza de aceleración sobre el rotor es nula, es decir que la rotación del rotor no se acelera, seguido por una velocidad de regulación de paso más lenta hasta la posición de estacionamiento.

En la solicitud de patente europea EP 1 701 034 (Winwind) se da a conocer un método de inclinación del rotor de una turbina eólica en el que se tiene en cuenta reducir el movimiento pendular de la torre de turbina eólica que se produce cuando el empuje positivo sobre el rotor durante el funcionamiento normal que proporciona una desviación de la torre en sentido a sotavento se sustituye por un empuje negativo cuando se regula el paso de las palas hacia la posición de estacionamiento, de modo que la torre cuando se mueve hacia el viento desde la posición desviada se acelera en el sentido del viento, provocando un enorme momento de flexión en la base de la torre. Esto se contrarresta mediante la regulación de paso con una alta velocidad angular de, por ejemplo 15º/s hasta que la potencia está alrededor de su posición vertical y entonces reduciendo la velocidad angular hasta, por ejemplo, 5º/s o incluso 0º/s hasta que se alcanza la posición de extremo de la torre en el sentido a barlovento, en la que después se reanuda la alta velocidad angular hasta que se alcanza la posición de estacionamiento de las palas.

Es un objeto de la presente invención proporcionar un procedimiento de parada de la turbina eólica en el que se reduce el momento de flexión de extremo aplicado a la torre de turbina eólica.

Breve descripción de la presente invención

La presente invención se refiere a un método para controlar el ángulo de paso de las palas de un rotor de turbina eólica durante un procedimiento de parada de emergencia del rotor tal como se facilita mediante la reivindicación 1.

La presente invención proporciona una solución ventajosa al problema expuesto anteriormente mediante la rápida regulación de paso de las palas de rotor, por ejemplo con una velocidad angular de 10-15º/s hasta una posición sin empuje, tras lo cual se regula el paso de las palas de rotor para mantener la ausencia de empuje o el empuje en contra del sentido del movimiento pendular de la torre durante cierto tiempo para evitar que el empuje aerodinámico agrave el movimiento pendular. Con esta estrategia de control, pueden evitarse los enormes momentos de flexión de la raíz de la torre que para un simple procedimiento de parada con una velocidad de regulación de paso angular constante puede alcanzar una magnitud de 2,5 veces el momento de flexión máximo en el funcionamiento habitual, lo que conduce a que se evite el fallo de la torre de turbina eólica, a la prolongación de la vida útil para una torre de turbina eólica y la posibilidad de erigir torres de turbina eólica con menos refuerzo en la raíz de la torre.

La posición sin empuje puede ser, por ejemplo, un ángulo de paso predeterminado o puede determinarse por medio de la medición de datos de funcionamiento de la turbina eólica. Puede hacerse uso del hecho de que las condiciones de funcionamiento sin empuje y sin aceleración del rotor normalmente coinciden sustancialmente para una turbina eólica de velocidad variable de paso controlado, de modo que se encuentra una posición sin empuje cuando la fuerza de aceleración sobre el rotor es nula, es decir que la rotación del rotor no se acelera, dado que el generador no está extrayendo energía eléctrica del rotor, tal como durante una grave disminución de tensión en la red de distribución, o puede detectarse a partir de la salida de potencia activa del generador de la turbina eólica en casos en los que el generador está todavía en funcionamiento. Como alternativa adicional, el par de torsión sobre el árbol principal que conecta el buje de rotor y el generador o una caja de engranajes puede detectarse por medio de, por ejemplo, una galga extensométrica. Una posición sin empuje también puede detectarse a partir de mediciones de la deformación de las palas de rotor, por ejemplo por medio de galgas extensométricas u otros detectores en las palas. El procedimiento de parada de la presente invención se implementa para paradas de emergencia, cuando el generador no está produciendo energía eléctrica para la red de distribución y se detecta la posición sin empuje midiendo la velocidad de rotación del rotor de turbina eólica, por ejemplo por medio de la salida de un tacómetro, de un árbol principal o de un árbol de la caja de engranajes, en la que una velocidad de rotación constante indica una

posición sin fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor.

Por tanto, la presente invención se refiere a un método para controlar el ángulo de paso de las palas de un rotor de turbina eólica durante un procedimiento de parada de emergencia del rotor desde un estado de funcionamiento, en el que la torre de turbina eólica se desvía en un sentido a sotavento debido a la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor, comprendiendo el método las etapas de

medir la velocidad de rotación del rotor de turbina eólica,

regular el paso de las palas hasta una posición en la que la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor es sustancialmente nula tal como la indicada por una velocidad de rotación constante, y

posteriormente controlar la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor para que o bien sea sustancialmente nula o bien sea en contra del sentido de movimiento de la torre en su primer modo de frecuencia propia natural, al menos hasta que la torre de la turbina eólica haya alcanzado una posición sustancialmente vertical tras haber alcanzado la posición de desviación de extremo en el sentido a barlovento, en una realización preferida al menos hasta que la torre de la turbina eólica haya alcanzado de nuevo la posición de desviación de extremo en el sentido a sotavento, es decir en el sentido de la desviación inicial de la torre en sentido opuesto al sentido del viento. El método de la invención comprende además que la etapa posterior incluya el mantenimiento de las palas en la posición en la que la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor es sustancialmente nula durante un periodo de tiempo predeterminado, y finalmente la regulación de paso de las palas hasta la posición en bandera.

Se prefiere que la posición en la que la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor es sustancialmente nula se mantenga tras dicha regulación de paso de la pala al menos hasta que la torre de la turbina eólica haya alcanzado una posición sustancialmente vertical. En una realización adicional preferida, las palas se mantienen en una posición en la que la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor es sustancialmente nula hasta que la torre, a partir de la flexión inicial, ha alcanzado la posición de flexión de extremo opuesta en el sentido a barlovento.

Tras haber alcanzado la torre, a partir de la flexión inicial, la posición de flexión de extremo opuesta en el sentido a barlovento, resulta ventajoso que el método comprenda la etapa de regular el paso de las palas hasta una posición en la que la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor se dirige en el sentido a barlovento, de modo que el movimiento pendular de la torre se contrarresta de manera activa por las fuerzas aerodinámicas sobre el rotor. Esta segunda regulación de paso se realiza preferiblemente a una menor velocidad de ángulo de paso que la primera regulación de paso, es decir dentro de un intervalo de 4 a 8º/s.

Las palas pueden mantenerse en la posición en la que la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor es sustancialmente nula durante un periodo de tiempo en el intervalo de 0,2 a 0,4 veces el periodo de la primera frecuencia propia natural del modo de flexión de la torre de turbina eólica, es decir el periodo de tiempo puede predeterminarse a partir del conocimiento de las propiedades de vibración de la turbina eólica en cuanto a que dicha frecuencia propia se establece para la turbina eólica en funcionamiento, ensamblada, con góndola y rotor, como alternativa a determinar el inicio de las diversas etapas del método por medio de mediciones en la turbina eólica.

En una realización alternativa, el método comprende la etapa de

regular el paso de las palas hasta una posición en la que la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor se dirige en el sentido a sotavento cuando la torre, a partir de la flexión inicial, ha alcanzado la posición sustancialmente vertical, mediante lo cual se contrarresta el movimiento pendular de la torre ya antes de que se haya alcanzado la posición de extremo a barlovento.

Las palas pueden mantenerse en la posición en la que la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor es sustancialmente nula mediante medios que mantienen un ángulo de paso de pala constante o ajustando el ángulo según un cambio esperado o medido en la velocidad de rotación del rotor y/o según una velocidad del viento medida. Sin embargo, se prefiere que se realice un ajuste repetido del ángulo de paso de las palas por medio de un procedimiento de control basado en la etapa de determinar una medición de la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor, por ejemplo midiendo la salida de potencia activa desde el generador de la turbina eólica.

La etapa de controlar dicha regulación de paso de las palas hasta una posición en la que la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor es sustancialmente nula puede comprender en general la etapa de determinar una medición de la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor y realizar el control en respuesta a la misma.

El método de la presente invención puede comprender además la etapa de determinar una medición del movimiento de la parte superior de la torre, incluyendo preferiblemente la velocidad de la parte superior de la torre, y realizar el control de las etapas según la misma.

La presente invención además se refiere a una turbina eólica según la reivindicación 11 que tiene preferiblemente control de paso variable o control de pérdida aerodinámica activa de las palas y que comprende un sistema de control que tiene medios para controlar un procedimiento de parada del rotor de turbina eólica según el método de la invención descrito en el presente documento. La inversión de la velocidad puede emplearse para determinar las

posiciones de extremo de la parte superior de la torre de turbina eólica, y puede emplearse una integración de la velocidad para determinar la posición de la parte superior de la torre, en particular la posición vertical, que puede usarse para controlar el rendimiento de determinadas etapas del método.

El sistema de control de la presente invención puede ser una parte integrada de un sistema de control de paso de la turbina eólica para el funcionamiento habitual de la turbina eólica, pero se prefiere que el sistema de control constituya un sistema de parada de seguridad que funciona independientemente de un sistema de control de paso de la turbina eólica.

Breve descripción de las figuras

Se describirá una realización de la invención a continuación con referencia al dibujo adjunto del que

la figura 1 ilustra una turbina eólica moderna grande observada desde la parte frontal,

la figura 2 ilustra la desviación de la turbina eólica durante una desconexión,

la figura 3 muestra el cambio de ángulo de paso, el ángulo de paso, la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor y la desviación de una turbina eólica durante una desconexión según una primera realización de la invención,

la figura 4 muestra el cambio de ángulo de paso, el ángulo de paso, la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor y la desviación de una turbina eólica durante una desconexión según una segunda realización de la invención, y

la figura 5 muestra el cambio de ángulo de paso, el ángulo de paso, la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor y la desviación de una turbina eólica durante una desconexión según una tercera realización de la invención.

Las figuras se proporcionan para ilustrar y respaldar la comprensión de la invención y no han de considerarse como limitativas del alcance de protección definido por las reivindicaciones adjuntas.

Descripción detallada de realizaciones de la invención

La figura 1 ilustra una turbina eólica moderna 1, que comprende una torre 2 y una góndola de turbina eólica 3 situada encima de la torre 2. El rotor de turbina eólica 4 que comprende tres palas de turbina eólica 5 está conectado a la góndola 3 a través del árbol de baja velocidad desde la parte frontal de la góndola 3.

Cuando la turbina eólica 1 está en funcionamiento, el viento tal como se muestra en la figura 2 proporciona una fuerza de aceleración aerodinámica sobre el rotor de turbina 4, que se convierte en la producción de potencia activa de salida desde la turbina eólica hasta una red de distribución eléctrica. El viento también proporciona una fuerza de empuje aerodinámico F_t sobre el rotor, haciendo que la torre de turbina eólica 2 se flexione en el sentido opuesto al viento hasta la posición mostrada con la línea de puntos a la derecha 2a, en la que la parte superior de la torre está en la posición A y se desvía *z*, que indica la distancia desde la parte superior de la torre hasta la posición de la parte superior de la torre cuando la torre está en su posición vertical. La fuerza de empuje F_t sobre el rotor proporciona un momento de flexión M_t sobre la base de la torre. Cuando se inicia el procedimiento de parada o desconexión, la parte superior de la torre está en la posición A. La fuerza de empuje se reduce entonces porque se regula adicionalmente el paso de las palas del rotor, en sentido opuesto a la posición de funcionamiento de producción hasta una posición, en la que la fuerza de empuje es sustancialmente nula, es decir se reduce hasta, por ejemplo, +/- 10% de la fuerza de empuje durante el funcionamiento normal antes del procedimiento de parada o incluso menos. La fuerza de aceleración sobre el rotor se reduce de manera correspondiente. La torre se moverá, como reacción a la fuerza de empuje reducida, hacia delante en el sentido del viento bajo la influencia de la elasticidad de la torre, pasará por la posición erguida, vertical de la torre, en la que la parte superior de la torre está en la posición B donde $z=0$. El movimiento de la torre en el sentido del viento continuará hasta que se alcance la posición de extremo hacia el viento y la parte superior se encuentre en la posición C. Después de eso, el movimiento de la torre es en el sentido del viento y la torre pasará de nuevo por la posición erguida, vertical de la torre, en la que la parte superior de la torre está en la posición D donde $z=0$. Los movimientos continuarán hasta que se haya amortiguado mediante amortiguación aerodinámica o se hayan aplicado activamente fuerzas aerodinámicas. La frecuencia del movimiento pendular es próxima a la primera frecuencia propia natural de la torre, que sin embargo se ve influida por las fuerzas aerodinámicas que actúan sobre la turbina eólica.

En las figuras 3-5, se muestran tres realizaciones de un procedimiento de parada en las que se representa la velocidad de paso o velocidad de cambio de ángulo de paso θ en la curva superior en función del tiempo *t,* seguido por el ángulo de paso θ que está cambiando en consecuencia. La fuerza de empuje F_t se muestra en la tercera curva desde abajo y la posición *z* de la parte superior de la torre en función del tiempo *t* se muestra en la curva que está más abajo.

Con la primera realización mostrada en la figura 3, la velocidad de paso se controla durante el procedimiento de parada para que asuma o bien un valor predeterminado o bien sea nula. Este podría ser el caso, por ejemplo, para un sistema de parada de emergencia sencillo y robusto. Cuando se inicia el procedimiento de parada en A, la velocidad de paso se acelera hasta este valor hasta que se alcanza una posición de fuerza de empuje

sustancialmente nula. Esta posición de paso de las palas puede hallarse mediante la medición en las palas o el rotor, por ejemplo mediante la medición de la deformación de las palas por medio de galgas extensométricas en o cerca de las raíces de las palas. Alternativamente, la posición se selecciona a partir del conocimiento predeterminado del ángulo de paso óptimo para alcanzar la posición sustancialmente sin fuerza de empuje, hallado opcionalmente a partir de valores empíricos y velocidad de rotación del rotor medida y/o velocidad del viento medida. El movimiento de la torre de turbina eólica continúa y se alcanza la posición de extremo en el sentido del viento en C. Alternativamente, el momento en el que se encuentra en la posición C puede estimarse a partir de la primera frecuencia propia natural de la torre y será aproximadamente la mitad de un periodo del mismo desde el inicio del procedimiento de parada en A o de 0,25 a 0,35 veces el periodo del mismo desde el final de la primera acción de regulación de paso. Cuando se alcanza la posición C, la velocidad de paso se acelera hasta el valor predeterminado, que se mantiene hasta que las palas están en bandera, es decir han alcanzado la posición de estacionamiento en un ángulo de paso de aproximadamente 90º (no mostrado).

La fuerza de empuje F_t sobre el rotor es como consecuencia de la regulación de paso reducida desde su valor inicial en funcionamiento normal de la turbina eólica hasta un valor aproximadamente nulo al final de la primera acción de regulación de paso empezando en A. El estado sin fuerza de empuje se continúa hasta que se alcanza la posición de extremo a barlovento de la parte superior de la torre en C, donde tras la acción de regulación de paso renovada da como resultado una fuerza de empuje negativa, es decir en contra del sentido del viento y en esta parte del movimiento de la torre desde la posición C es en contra del sentido de movimiento de la parte superior de la torre, que da como resultado de nuevo una reducción de la amplitud de las oscilaciones o el movimiento pendular de la torre tal como se muestra en la curva que está más abajo que muestra la desviación z de la parte superior de la torre con respecto a la posición vertical alcanzada en B y D. La fuerza de empuje es, en gran medida, proporcional a la fuerza de aceleración sobre el rotor de turbina eólica para una turbina eólica de velocidad variable, de paso controlado, y se evita una aceleración de la rotación del rotor y la fuerza de empuje negativa se reflejará en una fuerza de aceleración negativa sobre el rotor que interrumpirá su rotación.

Las consecuencias de la estrategia de procedimiento de parada de la figura 3 son que se controla la amplitud z de la parte superior de la torre y se evita un momento de flexión M_t excesivo en la raíz de la torre.

Una segunda estrategia de procedimiento de parada se da a conocer en la figura 4, en la que la velocidad de regulación de paso inicial es mayor que en la primera realización. Esto requiere algo más de complejidad de, por ejemplo, un sistema de parada de rotor de emergencia independiente que tiene control de paso, pero la ventaja es que el estado sin fuerza de empuje se alcanza más rápido, es decir que el periodo de tiempo desde A y hasta el estado sin fuerza de empuje es más corto. La fuerza de aceleración aerodinámica sobre el rotor se reduce de manera similar más rápido y se reduce el riesgo de una posible velocidad excesiva del rotor, por ejemplo cuando se inicia el procedimiento de parada debido a una disminución de tensión repentina en la red.

Una estrategia aún más avanzada para el procedimiento de parada se muestra en la figura 5. En este caso, la estrategia de la figura 4 se ha mejorado adicionalmente mediante la regulación de paso de las palas de rotor un poco hacia atrás para proporcionar una fuerza de empuje aerodinámico positiva al rotor tras haber pasado la parte superior de la torre por la posición vertical B la primera vez. Mediante eso, el movimiento pendular de la torre se amortigua muy pronto, y se reduce la amplitud resultante z en la posición de extremo a barlovento C de la parte superior de la torre y es mucho menor en magnitud absoluta que la desviación inicial z en la posición de partida A de la parte superior de la torre. Esta estrategia proporciona un control significativamente mejorado de la oscilación de la torre pero tiene el inconveniente de que el rotor se acelera hacia una mayor velocidad de rotación debido a una fuerza de aceleración aerodinámica positiva entre las posiciones B y C. Sin embargo, esto puede compensarse mediante el uso de otros medios para frenar la rotación del rotor, tal como por ejemplo un freno mecánico aplicado al árbol principal del rotor.

La velocidad de regulación de paso no es necesariamente nula tras alcanzarse la posición sin empuje de las palas por primera vez tras la posición de torre A. En una realización más avanzada, el ángulo de paso de las palas se ajusta de manera continua basándose en entradas de los sensores de la turbina eólica para conservar la condición sin empuje y compensar, por ejemplo, ráfagas de viento y el cambio de velocidad de rotación del rotor.

Las velocidades de regulación de paso mostradas en los tres ejemplos se mantienen constantes durante periodos de tiempo dados. Sin embargo, en una realización adicional, las velocidades de regulación de paso son variables e incluso pueden ajustarse a la situación de funcionamiento dada, teniendo en cuenta, por ejemplo, la velocidad del viento y la velocidad de rotación del rotor.

El sistema de control para realizar el procedimiento de parada es, en una primera realización, una parte integrada del sistema de control de paso de la turbina eólica. El sistema de control comprende medios para detectar una medición para el empuje aerodinámico sobre el rotor, que por ejemplo pueden ser mediciones con galga extensométrica de la deformación de las palas o el árbol principal del rotor como resultado del par de torsión, que es una medición de la fuerza de aceleración aerodinámica sobre el rotor que es sustancialmente proporcional a la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor. Alternativamente, la salida de potencia desde el generador puede usarse como medición de la fuerza de aceleración aerodinámica y de ese modo de la fuerza de empuje sobre el rotor. El sistema de control comprende además medios para la detección de una medición para la posición y/o la

velocidad de la torre de turbina eólica en su movimiento pendular. Puede usarse un sistema de posición inicial en combinación con un sistema de posicionamiento absoluto, tal como un sistema basado en satélite, por ejemplo el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). El sistema de posicionamiento absoluto se emplea para detectar la desviación absoluta *z* en el punto de partida inicial A del procedimiento de parada desde la posición vertical. Los sistemas de posicionamiento absoluto son generalmente lentos en la actualización de la posición absoluta como para poder seguir de manera eficiente el movimiento de la torre con suficiente exactitud, pero puede usarse un sistema de posicionamiento inicial que tiene un acelerómetro y una rutina de integración para calcular la velocidad y la posición absoluta para detectar las posiciones de extremo, tales como C, donde la velocidad es nula así como la posición vertical B, D. Alternativamente, la posición y/o velocidad pueden detectarse a partir de un sistema de posicionamiento absoluto adecuado solo o un sistema de posicionamiento inercial solo. Como alternativa adicional, que puede combinarse con una o ambas de las otras dos, pueden emplearse medios para medir la desviación angular de la parte superior de la torre con respecto a la vertical, que comprenden uno o más giróscopos o sensores de velocidad angular y/o sensores magnéticos que detectan la posición angular con respecto al campo magnético de la tierra.

En una segunda realización, el sistema de control para realizar el procedimiento de parada es un sistema de parada de emergencia independiente que controla medios de control de paso de emergencia, tales como un conjunto de actuadores de paso hidráulicos que actúan sobre las palas del rotor controlando válvulas que conectan los actuadores con un medio de almacenamiento hidráulico, que se conoce en sí mismo. Alternativamente, pueden emplearse actuadores eléctricos accionados por una disposición de baterías eléctricas de emergencia. El sistema de control puede comprender medios para detectar la posición de la parte superior de la torre tal como se describió con referencia a las primeras realizaciones comentadas antes. Alternativamente, el sistema de control puede funcionar a partir de un conjunto de valores o ajustes predefinidos basándose en la frecuencia propia de la torre de turbina eólica, un tipo de control que es menos preciso que el control basado en medición pero es mucho más robusto frente a un mal funcionamiento en la turbina eólica y que puede producir en gran medida un resultado satisfactorio en el control de la regulación de paso de las palas de rotor para evitar momentos de flexión excesivos en la raíz de la torre.

El experto en la técnica puede saber, a partir de la descripción anterior de ejemplos, cómo combinar éstos entre sí y la metodología conocida en la técnica para obtener una pluralidad de diferentes sistemas para trabajar con la presente invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Método para controlar el ángulo de paso de las palas (5) de un rotor (4) de turbina eólica (1) durante un procedimiento de parada de emergencia del rotor desde un estado de funcionamiento, en el que la torre de turbina eólica (2) se desvía en un sentido a sotavento debido a la fuerza de empuje aerodinámico (F_t) sobre el rotor, comprendiendo el método las etapas de

medir la velocidad de rotación del rotor de turbina eólica,

regular el paso de las palas hasta una posición en la que la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor es sustancialmente nula tal como la indicada por una velocidad de rotación constante,

posteriormente controlar la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor para que o bien sea sustancialmente nula o bien sea en contra del sentido de movimiento de la torre en su primer modo de frecuencia propia natural, al menos hasta que la torre de la turbina eólica haya alcanzado una posición sustancialmente vertical (D) tras haber alcanzado de posición desviada de extremo (C) en el sentido a barlovento, incluyendo la etapa posterior mantener las palas en la posición en la que la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor es sustancialmente nula durante un periodo de tiempo predeterminado, y

finalmente regular el paso de las palas hasta la posición en bandera.

2. Método según la reivindicación 1, en el que la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor se controla o bien para que sea sustancialmente nula o bien para que sea en contra del sentido de movimiento de la torre en su primer modo de frecuencia propia natural, al menos hasta que la torre de la turbina eólica haya alcanzado de nuevo la posición de desviación de extremo en el sentido a sotavento.

3. Método según la reivindicación 1 ó 2, que comprende, tras dicha regulación de paso de la pala, la etapa de mantener tal posición en la que la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor es sustancialmente nula al menos hasta que la torre de la turbina eólica haya alcanzado una posición sustancialmente vertical.

4. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende la etapa de regular el paso de las palas hasta una posición en la que la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor se dirige en el sentido a barlovento cuando la torre, a partir de la flexión inicial, ha alcanzado la posición de flexión de extremo opuesta en el sentido a barlovento.

5. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que dicho periodo de tiempo predeterminado está en el intervalo de 0,2 a 0,4, preferiblemente en el intervalo de 0,25 a 0,35, veces el periodo de la primera frecuencia propia natural del modo de flexión de la torre de turbina eólica.

6. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende además la etapa de

regular el paso de las palas hasta una posición en la que la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor se dirige en el sentido a sotavento cuando la torre, a partir de la flexión inicial, ha alcanzado la posición sustancialmente vertical.

7. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las palas se mantienen en la posición en la que la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor es sustancialmente nula por medio de un ajuste repetido del ángulo de paso de las palas controlado basándose en la etapa de determinar una medición de la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor.

8. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende la etapa de determinar una medición de la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor y controlar dicha regulación de paso de las palas hasta una posición en la que la fuerza de empuje aerodinámico sobre el rotor es sustancialmente nula en respuesta a la misma.

9. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende la etapa de determinar una medición del movimiento de la parte superior de la torre y realizar el control de las etapas según la misma.

10. Método según la reivindicación 9, en el que dicha medición incluye la velocidad de la parte superior de la torre y realizar el control de las etapas según esta.

11. Turbina eólica que comprende un sistema de control que tiene medios para controlar un procedimiento de parada del rotor de turbina eólica según el método de cualquiera de las reivindicaciones 1-10.

12. Turbina eólica según la reivindicación 11, en la que dicho sistema de control constituye un sistema de parada de seguridad que funciona independientemente de un sistema de control de paso de la turbina eólica.

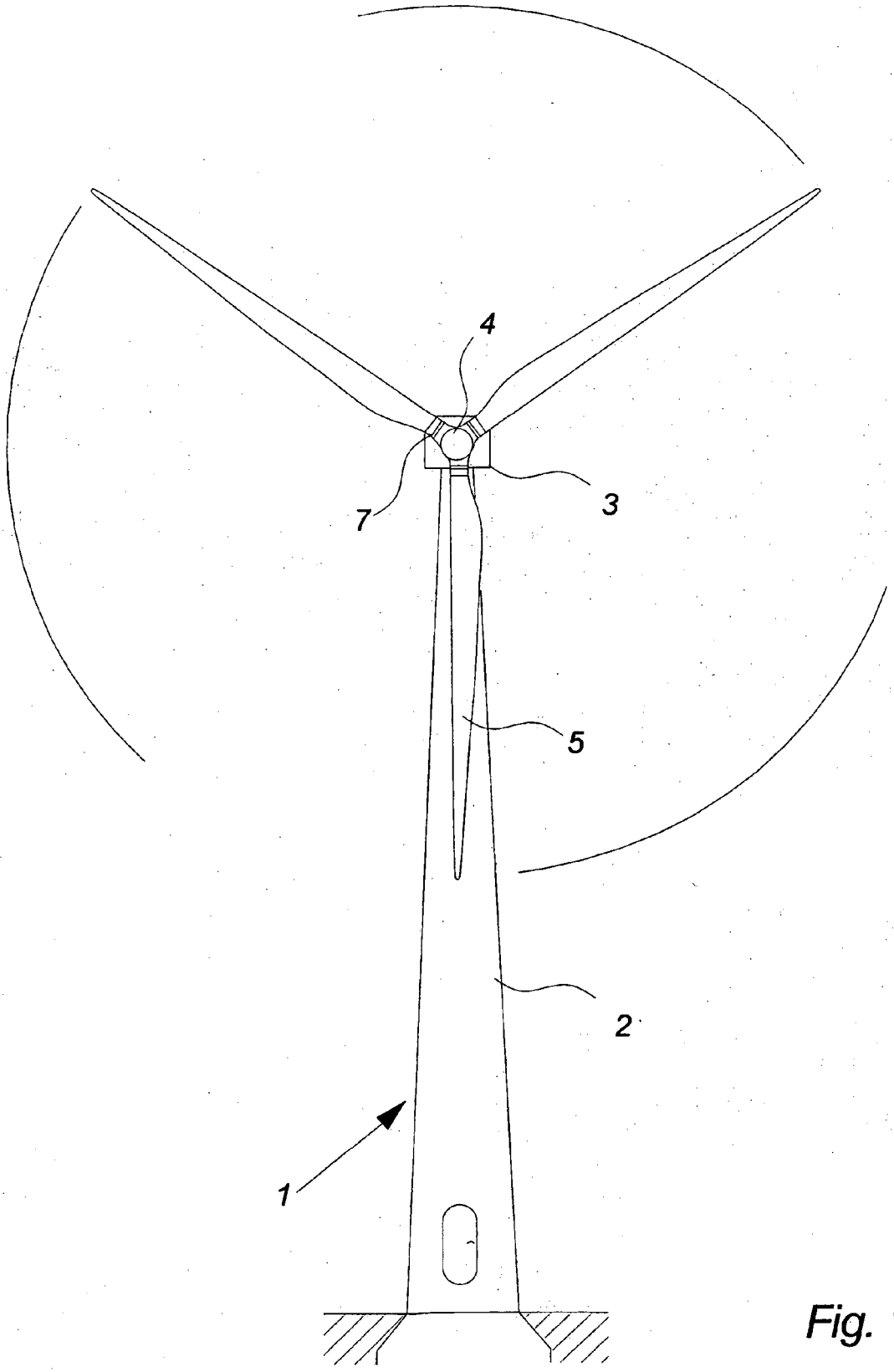

Fig. 1

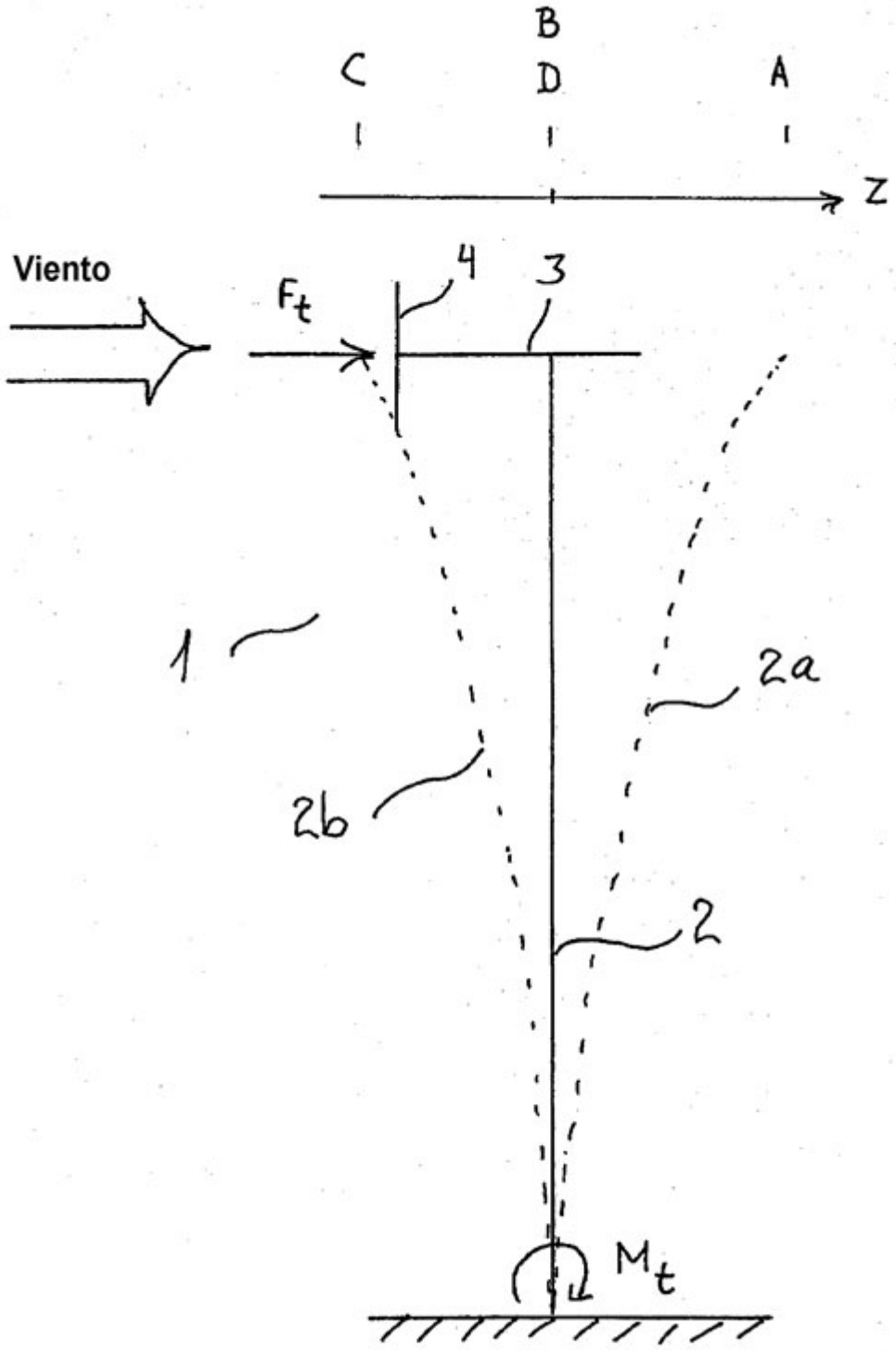

Fig. 2

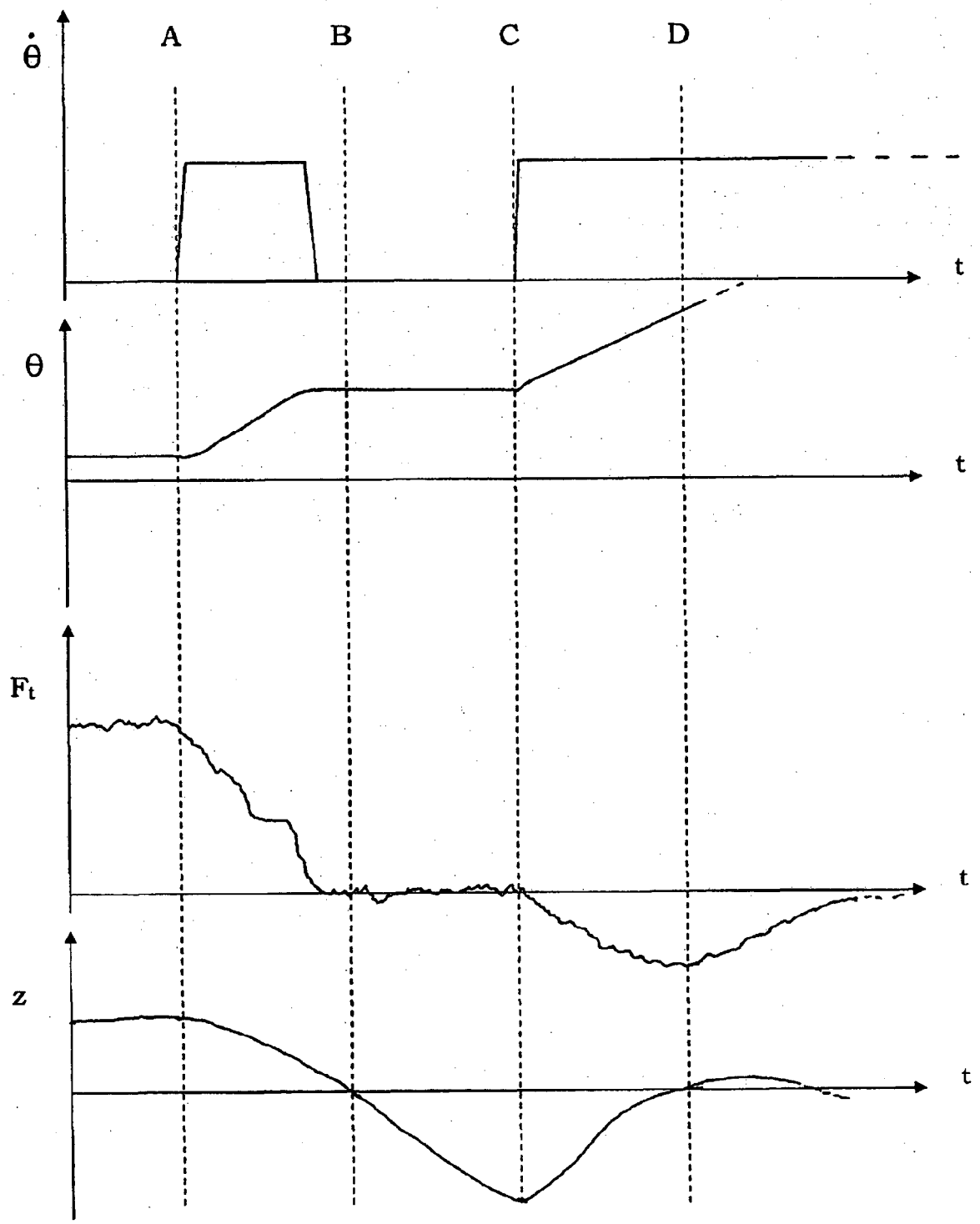

Fig. 3

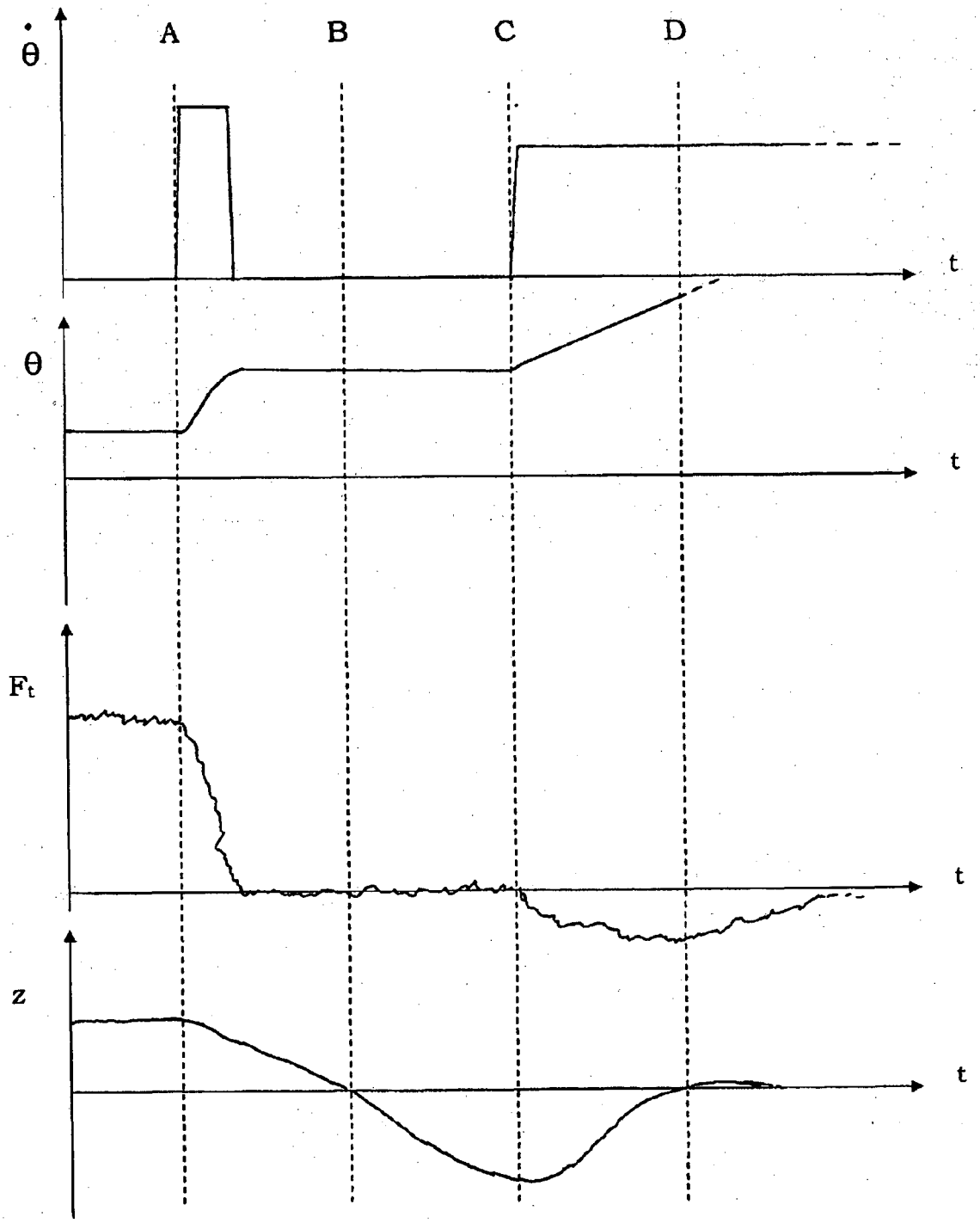

Fig. 4

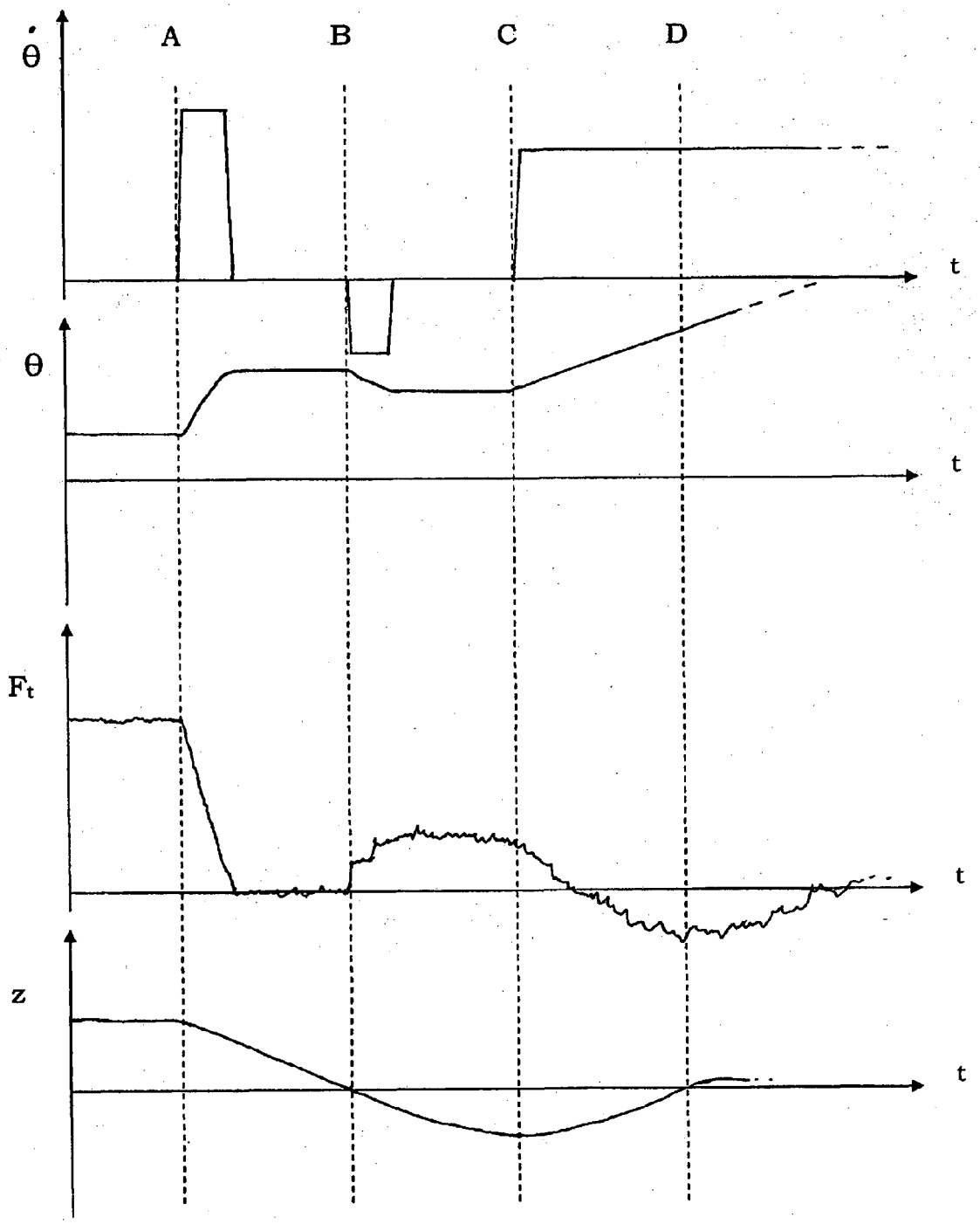

Fig. 5