

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 602 272**

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: **07.03.2013** **E 13305256 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.08.2016** **EP 2642121**

54 Título: **Procedimiento para controlar una eólica optimizando su producción mientras minimiza el impacto mecánico sobre la transmisión**

30 Prioridad:

20.03.2012 FR 1200836

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

20.02.2017

73 Titular/es:

**IFP ÉNERGIES NOUVELLES (100.0%)
1 & 4, avenue de Bois-Préau
92852 Rueil-Malmaison Cedex, FR**

72 Inventor/es:

CHAUVIN, JONATHAN

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 602 272 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).

DESCRIPCION

Procedimiento para controlar una eólica optimizando su producción mientras minimiza el impacto mecánico sobre la transmisión.

5 Una eólica permite transformar la energía cinética del viento en energía eléctrica o mecánica. La misma se compone de los elementos siguientes:

- un mástil permite colocar el rotor a una altura suficiente para permitir su movimiento (necesario para las eólicas de eje horizontal) o colocar este rotor a una altura que le permita ser accionado por un viento más fuerte y regular que a nivel del suelo. El mástil acoge generalmente una parte de los componentes eléctricos y electrónicos (modulador, control, multiplicador, generador, etc...);
- 10 - una góndola montada en la cima del mástil, que acoge los componentes mecánicos, neumáticos, algunos componentes eléctricos y electrónicos, necesarios para el funcionamiento de la máquina. La góndola puede girar para orientar la máquina en la buena dirección;
- un rotor, compuesto por varias aspas (en general tres) y el morro de la eólica, fijado a la góndola. El rotor es accionado por la energía del viento, está conectado por un árbol mecánico directa o indirectamente (por medio de un sistema de caja de velocidades y de árbol mecánico) con la máquina eléctrica (generador eléctrico...) que convierte la energía recogida en energía eléctrica;
- 15 - una transmisión, compuesta por dos ejes (árbol mecánico del rotor y árbol mecánico de la máquina eléctrica) conectados por una caja de velocidades.

20 En el caso de la eólica offshore, se distingue el caso donde la eólica está instalada sobre el fondo marino (eólica fija o anclada), y el caso donde la eólica está soportada por una plataforma que flota en el mar y que está anclada en el fondo (eólica flotante).

Desde el comienzo de los años 1990 la energía eólica ha conocido una reactivación del interés, en particular en la Unión Europea donde el porcentaje de aumento anual es de aproximadamente un 20%. Este incremento es atribuido a la posibilidad inherente de producción de electricidad sin emisiones de carbono. Con el fin de sostener este crecimiento, el rendimiento de las eólicas debe continuar siendo mejorado. Las eólicas están concebidas para producir electricidad a un precio tan bajo como sea posible. Por consiguiente, las eólicas están en general construidas de forma que alcancen su rendimiento máximo en aproximadamente 15 m/s. Resulta de hecho inútil concebir eólicas que maximalicen su rendimiento a velocidades de viento aún más elevadas, siendo estas poco frecuentes. En caso de velocidades de viento superiores a 15 m/s, es necesario perder una parte de la energía suplementaria contenida en el viento con el fin de evitar cualquier daño de la eólica. Todas las eólicas están por consiguiente concebidas con un sistema de regulación de la potencia.

35 La perspectiva de aumento de producción de energía eólica necesita el desarrollo de útiles de producción eficaces, y útiles de control avanzados para mejorar los rendimientos de las máquinas. Las eólicas están concebidas para producir electricidad a un precio tan bajo como sea posible. Por consiguiente, las eólicas están en general construidas para que alcancen su rendimiento máximo en aproximadamente 15 m/s. Resulta de hecho inútil concebir eólicas que maximalicen su rendimiento a velocidades de viento aún más elevadas, siendo estas poco frecuentes. En caso de velocidades de viento superiores a 15 m/s, es necesario perder una parte de la energía suplementaria contenida en el viento con el fin de evitar cualquier daño de la eólica. Todas las eólicas están por consiguiente concebidas con un sistema de regulación de la potencia.

40 Los controladores lineales han sido ampliamente utilizados para la regulación de potencia mediante el control del ángulo de inclinación de las aspas (orientación de las aspas). Se conocen técnicas que utilizan controladores PI y PID, técnicas de control LQ y LQG, estrategias basadas en controles lineales robustos.

45 Sin embargo, los rendimientos de estos controladores lineales están limitados por las características fuertemente no lineales de la eólica. Primeras estrategias basadas en controles no lineales han sido utilizadas en: Boukhezzer B., Lupu L., Siguerdidjane H., Hand M. "Multivariable control strategy for variable speed, variable pitch wind turbines" *Renewable Energy*, 32 (2007) 1273-1287.

50 Sin embargo, ninguno de estos controladores permite tomar en cuenta el impacto mecánico (fatiga y momento extremo) en la transmisión. Ahora bien, las roturas o daños a nivel de la transmisión son la parte más importante donde la eólica no funciona. A partir de datos recuperados de una aplicación offshore, las roturas de la transmisión, de la caja de velocidades o de la máquina eléctrica corresponden a cerca del 39% del tiempo en que la eólica no produce. El documento EP 0008584 A1 es un primer acercamiento sin tener en cuenta el impacto de la transmisión en el control del ángulo de inclinación de las aspas.

55 El objeto de la invención se refiere a un procedimiento para optimizar la producción de energía eléctrica de una eólica, realizando un control no lineal de la orientación de las aspas teniendo en cuenta las dinámicas del sistema, minimizando el impacto mecánico sobre la transmisión. El impacto se minimiza disminuyendo las variaciones de velocidad de torsión de la transmisión teniendo en cuenta la derivada del ángulo de torsión de la transmisión.

El procedimiento según la invención

De forma general, la invención se refiere a un procedimiento para optimizar la producción de energía eléctrica de una eólica, comprendiendo la indicada eólica una góndola provista de un rotor sobre el cual se fijan las aspas, y una máquina eléctrica conectada con dicho rotor por una transmisión, en el cual se controla un ángulo de inclinación de las indicadas aspas. El procedimiento comprende las etapas siguientes:

- a) se determina un valor de consigna de par aerodinámico y un valor de consigna de par de la máquina eléctrica que permite maximizar la potencia recuperada, a partir de mediciones de velocidad de viento, de velocidad del rotor y de velocidad de la máquina eléctrica;
- b) se modifica al menos uno de los indicados valores de consigna substrayéndole un término proporcional a una diferencia entre la velocidad medida del rotor y la velocidad medida de la máquina eléctrica;
- c) se determina un ángulo de inclinación de las aspas permitiendo realizar el indicado valor de consigna de par aerodinámico;
- d) se orientan las aspas según el indicado ángulo de inclinación.

Según la invención se puede modificar al menos uno de los indicados valores de consigna realizando las etapas siguientes:

- (i) se determina un par $\overline{T_{res}}$ sobre la indicada transmisión resultante de los indicados valores de consigna de par aerodinámico y de par de la máquina eléctrica;
- (ii) se determina un valor de consigna resultante T_{res}^{sp} sustrayendo al indicado par resultante $\overline{T_{res}}$ un término proporcional a la diferencia entre la velocidad medida del rotor y la velocidad medida de la máquina eléctrica;
- (iii) se modifica el indicado valor de consigna de par aerodinámico repartiendo el indicado valor de consigna de par resultante en un par aerodinámico y un par de la máquina eléctrica.

Según la invención, el valor de consigna del par resultante T_{res}^{sp} puede escribirse de la forma siguiente:

$$T_{res}^{sp} = \overline{T_{res}} - k\dot{\gamma}_{tr}$$

■ siendo k parámetros de calibración estrictamente positivos, y $\dot{\gamma}_{tr}$ es la velocidad de la torsión de la transmisión, igual a la diferencia de velocidad del rotor Ω_r y de la máquina eléctrica Ω_g llevada sobre el mismo eje:

$$\dot{\gamma}_{tr} = \Omega_r - \frac{1}{N}\Omega_g, \text{ donde N es una relación de caja entre eje del rotor y eje de la máquina eléctrica.}$$

Se puede determinar el ángulo de inclinación de las aspas invirtiendo un modelo de par aerodinámico y utilizando las indicadas mediciones de velocidad de viento y de velocidad del rotor.

Por último, se puede determinar el término proporcional utilizando para ello un modelo de la dinámica de la transmisión.

Otras características y ventajas del procedimiento según la invención, aparecerán con la lectura de la descripción dada a continuación de ejemplos no limitativos de realizaciones, haciendo referencia a las figuras adjuntas y descritas a continuación.

Presentación sucinta de las figuras

- La figura 1 representa el encadenamiento de las etapas del procedimiento según la invención.
- La figura 2 ilustra un ejemplo de cartografía del parámetro c_q .

Descripción detallada del procedimiento

En el transcurso de la descripción, las representaciones siguientes son utilizadas:

Variables controladas:

- θ el ángulo de inclinación de las aspas en grados, también llamado «pitch» (paso), y que corresponde al ángulo de toma del viento por cada una de las aspas.

- T_g el par de la máquina eléctrica en Nm;

- T_{aero} el par aerodinámico (fuerza en rotación aplicada al rotor bajo el efecto del viento).

Variables medidas, indicadas MES(-):

- V_w la velocidad del viento en m/s. Esta velocidad es el resultado de una medición a partir de un anemómetro o el resultado de una estimación;
- 5 • Ω_r la velocidad del rotor en rad/s;
- Ω_g la velocidad de la máquina eléctrica en rad/s.

El objetivo del procedimiento según la invención es maximizar la producción de energía de una eólica “onshore” u “offshore” limitando los momentos extremos y la fatiga de la transmisión. Para ello, se determina en una primera fase un valor de consigna de velocidad del rotor y un valor de consigna del par de la máquina eléctrica para maximizar la potencia recuperada. Estos dos valores de consigna se obtienen por medio de cartografías que son función de la velocidad del viento. Este tipo de cartografías es bien conocido por los especialistas.

Para controlar la estructura mecánica, se pilota el par aerodinámico relacionado con el cubo accionando la orientación de las aspas. Para ello, se utilizan modelos de este par aerodinámico medio en función del paso, de la velocidad del viento y de la velocidad del rotor. Seguidamente, se modifica el valor de consigna de posición del paso y del par de la máquina eléctrica con el fin de limitar el impacto mecánico de las variaciones de viento. Así, para pilotar el sistema, se realizan las etapas siguientes, ilustradas en la figura 1:

E1. Determinación del paso que permite optimizar la potencia recuperada

i-Generación de un valor de consigna de par eléctrico T_g^{sp}

ii-Generación de un valor de consigna de par aerodinámico T_{aero}^{sp}

20 *iii-Determinación de una posición de paso θ*

E2. Determinación del par resultante de los valores de consigna de los pares T_g^{sp} y T_{aero}^{sp}

E3. Generación de un valor de consigna de par resultante (T_{res}^{sp}) que disminuye la fatiga y los momentos extremos de la transmisión

E4. Reparto del par resultante del valor de consigna (T_{res}^{sp}) entre los pares aerodinámicos y eléctricos.

25 E5. Determinación de una posición de paso que permite realizar este par aerodinámico

E6. Orientación de las aspas según el paso determinado.

1. Determinación del paso que permite optimizar la potencia recuperada

Un objetivo del procedimiento según la invención es maximizar la producción de energía de una eólica de eje horizontal (hélice perpendicular al viento), instalada en tierra (“onshore”) o en el mar (“offshore”), limitando los momentos extremos y la fatiga de la estructura mecánica.

Para maximizar la producción de energía de una eólica se busca el ángulo de inclinación de las aspas, llamado «pitch» (paso) y representado por θ , permitiendo maximizar la potencia recuperada P_{aero} en función de la velocidad del viento V_w . La orientación de las aspas es el ángulo entre las aspas y una referencia tal como el suelo (plano horizontal, perpendicular al mástil de la eólica).

35 Según un modo de realización, para definir este ángulo, se utiliza un modelo de la potencia recuperable. Esta potencia P_{aero} puede escribirse:

$$P_{aero} = T_{aero} * \Omega_r$$

Siendo:

- T_{aero} el par aerodinámico (fuerza en rotación aplicada al rotor bajo el efecto del viento);
- 40 - Ω_r la velocidad del rotor en rad/s.

Se busca por consiguiente el ángulo θ que permite maximizar P_{aero} . Para ello, se realizan las etapas siguientes:

- i. – Generación de un valor de consigna de par de la máquina eléctrica T_g^{sp}

- ii – Generación de un valor de consigna de par aerodinámico T_{aero}^{sp}
- iii – Determinación de una posición de paso θ

i- Generación de un valor de consigna par de la máquina eléctrica T_g^{sp}

5 Se determina en una primera fase un valor de consigna de par de la máquina eléctrica T_g^{sp} . Este valor de consigna se obtiene por medio de una cartografía en función de la velocidad de la máquina eléctrica.

Según la invención, se modeliza el par aerodinámico T_{aero} mediante un modelo que describa la potencia del viento contenida en un cilindro, multiplicada por un factor que describa el hecho de que una eólica solo permite recuperar una parte de esta potencia. Se modeliza así el par aerodinámico en función de la velocidad del viento V_w , del paso θ y de la velocidad del rotor Ω_r . Un modelo de este tipo puede escribirse así en régimen estabilizado:

$$T_{aero} = 0.5 \rho \Pi R_b^3 c_q \left(\theta, \frac{R_b \Omega_r}{V_w} \right) V_w^2 \quad (1)$$

10

Siendo:

- R_b : radio del rotor;
- ρ : densidad del aire
- c_q : cartografía a calibrar.

15 Un ejemplo de cartografía del parámetro c_q está presentado en la figura 2. Esta cartografía indica el valor del parámetro c_q en función de la relación $\frac{R_b \Omega_r}{V_w}$, para diferentes pasos (una curva para cada θ). Este tipo de cartografías es bien conocido por los especialistas. La relación $\frac{R_b \Omega_r}{V_w}$ es indicada por TSR en la figura 2.

20 Así, para determinar el valor de consigna del par de la máquina eléctrica en función de la velocidad de la máquina eléctrica, se optimiza la potencia aerodinámica recuperada para cada velocidad de viento.

$$T_g^{sp} = \arg \left(\max_{\theta, V_w} \frac{0.5}{N} \rho \Pi R_b^3 c_q \left(\theta, \frac{R_b \Omega_g}{N V_w} \right) V_w^2 \right)$$

Eso nos permite disponer del par de consigna T_g que depende de la velocidad de la máquina eléctrica: $T_g^{sp} = f(\Omega_g)$

Sin embargo, con relación a esta curva de referencia, se aplican dos limitaciones:

- un par nulo para las pequeñas velocidades de la máquina eléctrica para poder aumentar la velocidad de la eólica;
- un par máximo para limitar la potencia de la máquina eléctrica.

De este modo, se dispone de tres regiones en la curva $T_g^{sp} = f(\Omega_g)$:

- Región 1: de par nulo;
- Región 2: de par óptimo;
- Región 3: de par limitado por la potencia máxima.

30

II – Generación de un valor de consigna de par aerodinámico T_{aero}^{sp}

El fin es generar un valor de consigna de par aerodinámico T_{aero}^{sp} que permita realizar la velocidad de rotor consigna Ω_r^{sp} . Para ello, se utiliza un modelo de la dinámica del rotor.

$$J_r \frac{d\Omega_r}{dt} = T_{aero} - T_l(\Omega_r) - NT_g(\Omega_g)$$

Siendo:

- J_r : inercia del rotor;
- $T_l(\Omega_r)$: par de rozamiento y de carga sobre el rotor (se utiliza clásicamente un polinomio de orden dos);
- N : relación de caja entre el eje del rotor y el eje de la máquina eléctrica.

De este modo, la estrategia de control utilizada es una estrategia de control dinámico que anticipa la variación del valor de consigna y que corrige con dos términos, un término proporcional y un término integral. La estrategia se escribe:

$$T_{aero}^{sp} = T_l(\Omega_r) + NT_g(\Omega_r) + J_r \frac{d\Omega_r^{sp}}{dt} - k_p(\Omega_r - \Omega_r^{sp}) - k_i \int (\Omega_r - \Omega_r^{sp})$$

donde k_p y k_i son dos parámetros reales a calibrar para garantizar la convergencia de la velocidad a su valor de consigna.

iii – Determinación de una posición de paso θ

A partir de este valor de consigna de par aerodinámico T_{aero}^{sp} , se determina un ángulo de inclinación θ de las aspas para satisfacer esta demanda de par aerodinámico T_{aero}^{sp} . Para eso, se utiliza el modelo de par aerodinámico (ecuación 1), con la medición de la velocidad del viento V_w , la medición del régimen del rotor Ω_r^{sp} , y el par T_{aero}^{sp} . Invertiendo el modelo (por un algoritmo de Newton por ejemplo), se obtiene un valor de consigna de paso $\bar{\theta}$:

$$\bar{\theta} = \arg \left(\min_{\theta} \left(T_{aero}^{sp} - 0.5 \rho \Pi R_b^3 c_q \left(\theta, \frac{R_b \Omega_r}{V_w} \right) V_w^2 \right)^2 \right)$$

Así, con esta ley de control, se garantiza la convergencia a la velocidad rotor de referencia, permitiendo maximizar la potencia recuperada.

2 – Determinación del par resultante de los valores de consigna de los pares T_g^{sp} y T_{aero}^{sp}

A partir de las consignas T_g^{sp} y T_{aero}^{sp} , se determina el par \bar{T}_{res} resultante de estos dos pares y que trasladará a la transmisión. Para ello, se modeliza este par mediante la fórmula siguiente:

$$\bar{T}_{res} = \frac{J_g}{J_r + J_g} (T_{aero}^{sp} - T_l) + \frac{J_r}{J_r + J_g} NT_g^{sp} \tag{2}$$

donde J_r y J_g son las inercias del rotor y de la máquina eléctrica.

3 – Generación de un valor de consigna de par resultante (T_{res}^{sp}) que disminuye la fatiga y los momentos de la transmisión

Se busca modificar este par resultante \overline{T}_{res} con el fin de minimizar el impacto sobre la transmisión y por consiguiente aumentar su duración. Para ello, se busca disminuir las variaciones de velocidad de torsión de la transmisión. Así, se buscará compensar el par con términos proporcionales a la diferencia entre la velocidad del rotor y de la máquina eléctrica. La dinámica de la estructura mecánica (dinámica de la transmisión) puede escribirse en forma de dos sistemas del segundo orden acoplados.

$$\begin{cases} \frac{J_r J_g}{J_r + J_g} \ddot{\gamma}_{tr} = -c_d \dot{\gamma}_{tr} - k_d \dot{\gamma}_{tr} + \frac{J_g}{J_r + J_g} (T_{aero} - T_l) + \frac{J_r}{J_r + J_g} N T_g \\ J_g \dot{\Omega}_g = c_d \dot{\gamma}_{tr} + k_d \dot{\gamma}_{tr} + N_{gb} T_g \end{cases} \quad (3)$$

donde

- γ_{tr} , $\dot{\gamma}_{tr}$ y $\ddot{\gamma}_{tr}$ son respectivamente el ángulo, la velocidad y la aceleración de la torsión del árbol. Es preciso observar que la velocidad de torsión de la transmisión es la diferencia de la velocidad del rotor y de la generatriz llevada al mismo eje, es decir, $\dot{\gamma}_{tr} = \Omega_r - \frac{1}{N} \Omega_g$;
- k_d es el amortiguamiento estructural de la transmisión;
- c_d es la rigidez de la transmisión.

Así, la estrategia de control busca generar un par resultante diferente de \overline{T}_{res} para minimizar la fatiga y los momentos extremos de la transmisión. Tendremos por consiguiente:

$$T_{res}^{sp} = \overline{T}_{res} - k \dot{\gamma}_{tr}$$

siendo k los parámetros de calibración estrictamente positivos. Estos parámetros pueden determinarse experimentalmente por un especialista. Se puede considerar que todos estos parámetros k son iguales a 1 por ejemplo.

4 - Reparto del par resultante del valor de consigna (T_{res}^{sp}) entre los pares aerodinámicos y eléctricos.

Este valor de consigna de par resultante T_{res}^{sp} es a continuación repartido entre el par aerodinámico T_{aero} y el par de la máquina eléctrica T_g . Para ello, el reparto se realiza en función de las zonas operatorias. En una zona 2, donde el par aerodinámico es limitante, se dispone de una reserva de par. En este caso, la modificación del par influye sobre el par de la máquina eléctrica y no sobre el par aerodinámico. Así, en este caso, se dispone:

$$\begin{cases} T_{aero}^{strat} = T_{aero}^{sp} \\ T_g^{strat} = T_g^{sp} - k \frac{J_r + J_g}{N J_r} \dot{\gamma}_{tr} \end{cases} \quad (4)$$

De la misma manera en una zona 3 donde el par de la máquina eléctrica es limitante, la modificación de par influye sobre el par aerodinámico lo cual proporciona:

$$5 \quad \left\{ \begin{array}{l} T_{aero}^{strat} = T_{aero}^{sp} - k \frac{J_r + J_g}{J_g} \dot{\gamma}_r \\ T_g^{strat} = T_g^{sp} \end{array} \right. \quad (5).$$

5 – Determinación de una posición de paso que permite realizar este par aerodinámico.

10 A partir de este valor de consigna de par aerodinámico T_{aero}^{strat} , se determina un ángulo de inclinación θ de las aspas para satisfacer esta demanda de par aerodinámico T_{aero}^{strat} . Para ello, se utiliza el modelo de par aerodinámico (ecuación 1), con la medición de la velocidad del viento V_w , la medición del régimen del rotor Ω_r^{sp} y el par de consigna T_{aero}^{strat} . Invertiendo el modelo (mediante un algoritmo de Newton por ejemplo), se obtiene un valor de consigna de paso $\bar{\theta}$:

$$\bar{\theta} = \arg \left(\min_{\theta} \left(T_{aero}^{strat} - 0.5 \rho \Pi R_b^3 c_q \left(\theta, \frac{R_b \Omega_r}{V_w} \right) V_w^2 \right)^2 \right)$$

15 Así, con esta ley de control se garantiza la convergencia a la velocidad rotor de referencia, permitiendo maximizar la potencia recuperada, minimizando el impacto mecánico (fatiga y momento extremo) sobre la transmisión.

6 – Orientación de las aspas según el paso determinado

20 Para optimizar la potencia eléctrica recuperada por la eólica, se orientan las aspas según el ángulo de inclinación calculado en la etapa precedente.

25

REIVINDICACIONES

5 **1.** Procedimiento para optimizar la producción de energía eléctrica de una eólica, comprendiendo la mencionada eólica una góndola provista de un rotor en el cual se fijan las aspas, y una máquina eléctrica conectada con dicho rotor por una transmisión, en el cual se controla un ángulo de inclinación de las mencionadas aspas, **caracterizado por que** comprende las etapas siguientes :

- a) se determina un valor de consigna de par aerodinámico y un valor de consigna de par de la máquina eléctrica permitiendo maximizar la potencia recuperada, a partir de mediciones de velocidad de viento, de velocidad del rotor y de velocidad de la máquina eléctrica ;
- 10 b) se modifica al menos uno de los indicados valores de consigna sustrayéndole un término proporcional a una diferencia entre la velocidad medida del rotor y la velocidad medida de la máquina eléctrica ;
- c) se determina un ángulo de inclinación de las aspas permitiendo realizar el indicado valor de consigna de par aerodinámico;
- d) se orientan las aspas según el indicado ángulo de inclinación.

15 **2.** Procedimiento según la reivindicación 1, en el cual se modifica al menos uno de los indicados valores de consigna realizando las etapas siguientes :

- i. se determina un par $\overline{T_{res}}$ sobre la indicada transmisión resultante de los indicados valores de consigna de par aerodinámico y de par de la máquina eléctrica;
- 20 ii. se determina un valor de consigna de par resultante T_{res}^{sp} sustrayendo al indicado par resultante T_{res} un término proporcional a la diferencia entre la velocidad medida del rotor y la velocidad medida de la máquina eléctrica ;
- iii. se modifica el indicado valor de consigna de par aerodinámico repartiendo el indicado valor de consigna de par resultante en un par aerodinámico y un par de la máquina eléctrica.

25 **3.** Procedimiento según la reivindicación 2, en el cual el indicado valor de consigna de par resultante T_{res}^{sp} se escribe :

$$T_{res}^{sp} = \overline{T_{res}} - k\dot{\gamma}_{tr}$$

30 • siendo k parámetros de calibración estrictamente positivos, y $\dot{\gamma}_{tr}$ la velocidad de una torsión de la transmisión, igual a una diferencia de velocidad del rotor Ω_r y de la máquina eléctrica Ω_g llevada a un mismo eje: $\dot{\gamma}_{tr} = \Omega_r - \frac{1}{N}\Omega_g$, donde N es una relación de caja entre eje del rotor y eje de la máquina eléctrica.

35 **4.** Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el cual se determina el ángulo de inclinación de las aspas invirtiendo un modelo de par aerodinámico y utilizado las indicadas mediciones de velocidad de viento y de velocidad del rotor.

40 **5.** Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en el cual se determina el término proporcional utilizando un modelo de la dinámica de la transmisión.

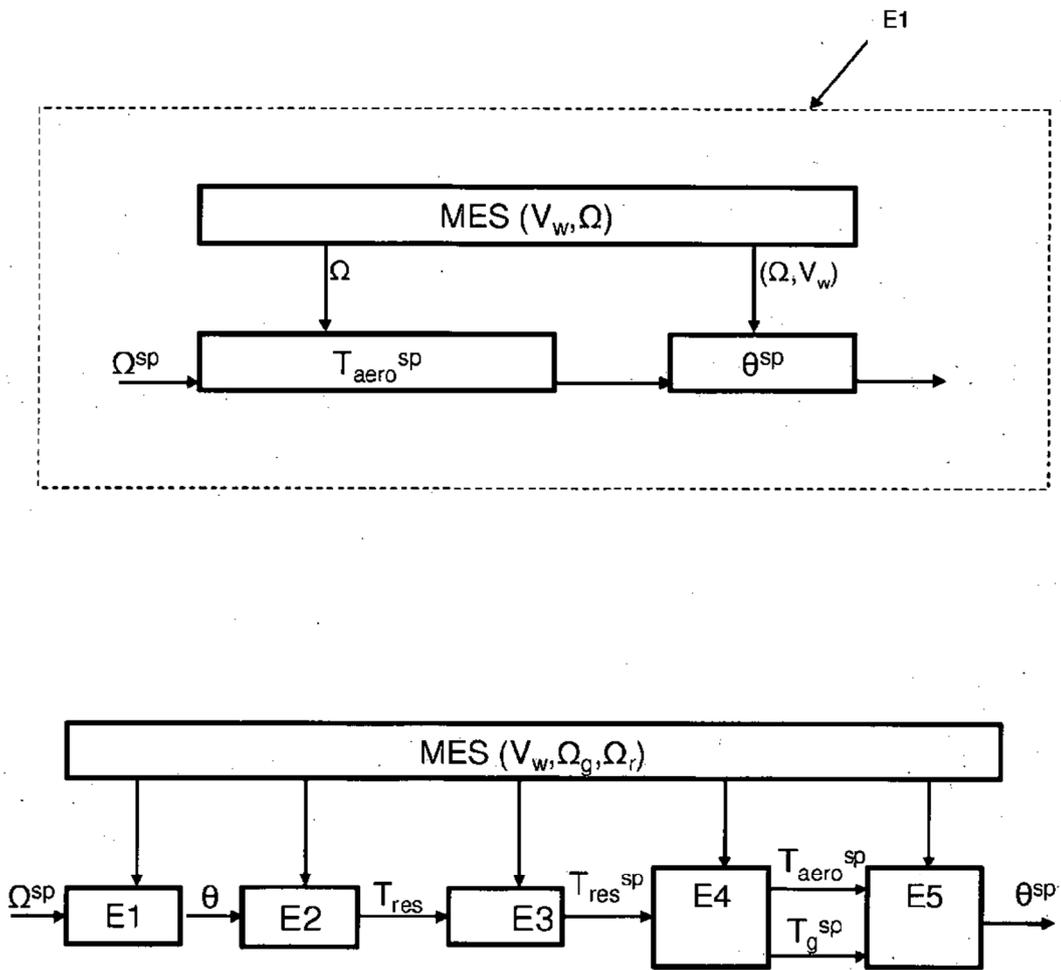


Fig. 1

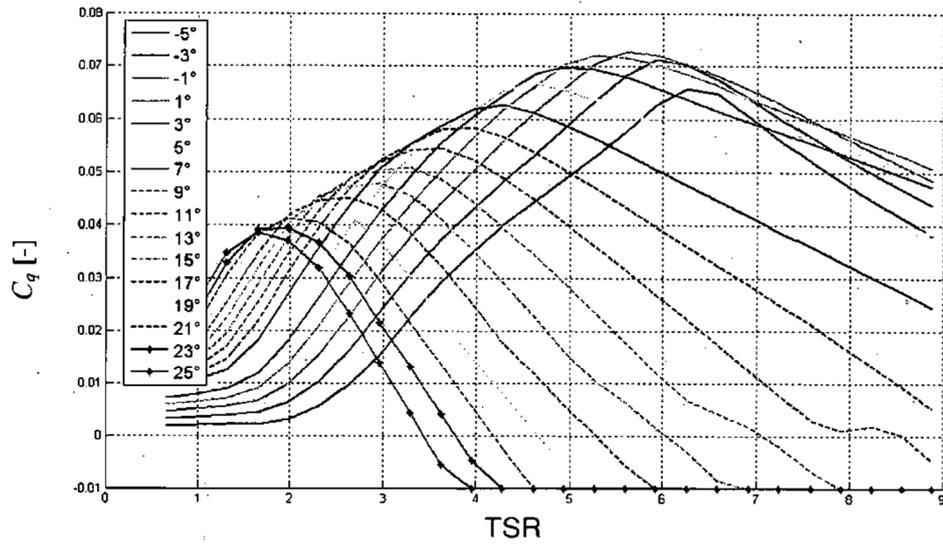


Fig. 2