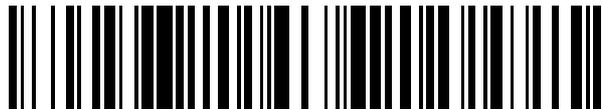


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 592 752**

51 Int. Cl.:

B64C 11/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.03.2012 PCT/GB2012/050703**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.10.2012 WO12131373**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.03.2012 E 12717814 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.08.2016 EP 2691297**

54 Título: **Procedimiento y aparato para hacer funcionar una hélice de aeronave**

30 Prioridad:

31.03.2011 GB 201105451
31.03.2011 EP 11275059

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
01.12.2016

73 Titular/es:

BAE SYSTEMS PLC. (100.0%)
6 Carlton Gardens
London SW1Y 5AD, GB

72 Inventor/es:

COLLINGBOURNE, PETER WAYNE

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 592 752 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 y aparato para hacer funcionar una hélice de aeronave

SECTOR TÉCNICO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a hacer funcionar una hélice.

5 ANTECEDENTES

Los motores de turbohélice son un tipo de sistema motopropulsor de aeronave que utiliza una turbina de gas para accionar una hélice.

Generalmente, los sistemas modernos de propulsión por turbohélice hacen funcionar hélices a velocidad constante. Los pasos de las palas de las hélices se modifican para absorber la potencia del eje suministrada.

10 En las instalaciones de turbohélice habituales, se proporciona al piloto un intervalo limitado dentro del cual se le permite variar la velocidad de la hélice (variando los pasos de las palas de la hélice) para aumentar la eficiencia del turbohélice. Este aumento en la eficiencia conduce a reducir el consumo de combustible y las emisiones. La magnitud para variar la velocidad de la hélice se suele obtener manualmente, por ejemplo a partir de diagramas suministrados por el fabricante de la aeronave.

15 Normalmente sólo es práctico ajustar la velocidad de la hélice manualmente de manera periódica, y periódicamente en largos segmentos de vuelo estabilizado. La razón de esto es evitar una excesiva carga de trabajo del piloto.

Además, aparte de la proporcionada por el piloto, habitualmente no hay ninguna integración de la hélice, del grupo sistema motopropulsor y del fuselaje. Por lo tanto, en una aeronave no tripulada, habitualmente no hay ningún procedimiento para aumentar la eficiencia del turbohélice variando la velocidad de la hélice.

20 Se conoce un procedimiento y un aparato para hacer funcionar una hélice por la memoria US 5 209 640, que se considera la técnica anterior más próxima.

RESUMEN DE LA INVENCION

25 La presente invención da a conocer un procedimiento para hacer funcionar una hélice (reivindicación 1), un aparato para hacer funcionar una hélice (reivindicación 12) y un medio de almacenamiento legible a máquina que almacena un programa (reivindicación 13).

30 En un primer aspecto, la presente invención da a conocer un procedimiento para hacer funcionar una hélice, moviéndose la hélice a través de un fluido, comprendiendo el procedimiento: medir un valor de una propiedad del fluido; medir un valor de un parámetro, estando el parámetro relacionado con una o varias fuerzas aplicadas a la hélice o derivadas, por lo menos en parte, de la acción de la hélice, y controlar la hélice dependiendo de una función del valor medido de la propiedad del fluido y del valor medido del parámetro.

La propiedad del fluido puede estar relacionada con la densidad del fluido.

La etapa de medir un valor para el parámetro puede comprender medir un valor para el empuje producido, por lo menos en parte, por la acción de la hélice.

35 La etapa de medir un valor para el parámetro puede comprender medir un valor de un parámetro relacionado con la resistencia producida, por lo menos en parte, por la acción de la hélice.

La etapa de medir un valor para el parámetro puede comprender medir un valor para un par motor aplicado a la hélice, y medir un valor para una velocidad producida, por lo menos en parte, por la acción de la hélice.

La función puede ser una función para determinar una velocidad de rotación para la hélice.

La función puede ser:

40
$$n^2 = \frac{T}{3a_0 \rho D^4}$$

donde:

n es la velocidad de rotación para la hélice;

T es el empuje medido producido por la acción de la hélice;

ρ es la densidad del fluido;

D es el diámetro de la hélice; y

a_0 es una constante.

La función puede ser:

$$n^2 = \frac{F_D}{3a_0\rho\eta_i ND^4}$$

5 donde:

n es la velocidad de rotación para la hélice;

F_D es una fuerza de resistencia;

η_i es un factor de eficiencia de la instalación;

N es el número total de hélices;

10 ρ es la densidad del fluido;

D es el diámetro de la hélice; y

a_0 es una constante.

La función puede ser:

$$n = \frac{-\left(\frac{b_1 V}{D}\right) + \sqrt{\left(\frac{b_1 V}{D}\right)^2 - 4b_0\left(\frac{b_2 V^2}{D^2} - \frac{2\pi Q}{\rho D^5}\right)}}{2b_0}$$

15 donde:

n es la velocidad de rotación para la hélice;

V es el valor medido para la velocidad producida por la acción de la hélice;

Q es el valor medido para el par motor aplicado a la hélice;

ρ es la propiedad densidad del fluido;

20 D es el diámetro de la hélice;

b_0 es una constante;

b_1 es una constante; y

b_2 es una constante.

25 Una constante se puede determinar aproximando una eficiencia óptima de la hélice utilizando un polinomio, siendo la constante un coeficiente de un término del polinomio.

La etapa de controlar la hélice puede comprender variar la velocidad de rotación de la hélice.

La hélice puede ser una hélice de una aeronave no tripulada. La hélice puede estar accionada por un motor de turbina de gas. La hélice puede ser un turbohélice, en particular puede ser un turbohélice de turbina libre.

30 En otro aspecto, la presente invención da a conocer un aparato para hacer funcionar una hélice, moviéndose la hélice a través de un fluido, comprendiendo el aparato: uno o varios sensores dispuestos para: medir un valor de una propiedad del fluido; y medir un valor de un parámetro, estando el parámetro relacionado con una o varias fuerzas aplicadas a la hélice o derivándose, por lo menos en parte, de la acción de la hélice; y medios para controlar la hélice, donde la hélice se controla dependiendo de una función del valor medido de la propiedad del fluido y del valor medido del parámetro.

35 En otro aspecto, la presente invención da a conocer un programa o una serie de programas dispuestos de tal modo que, cuando son ejecutados por un sistema informático o por uno o varios procesadores, hacen que el sistema informático o dichos uno o varios procesadores funcionen de acuerdo con cualquiera de los aspectos anteriores.

En otro aspecto, la presente invención da a conocer un medio de almacenamiento legible a máquina que almacena un programa o por lo menos uno de la serie de programas según el aspecto anterior.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

- 5 La figura 1 es una ilustración esquemática (no a escala) de un ejemplo de una aeronave que se utilizará para implementar un proceso de determinación de la velocidad de la hélice;
- la figura 2 es un diagrama de flujo de proceso, que muestra ciertas etapas de un proceso para hacer funcionar la aeronave, en las que se implementa un proceso de determinación de la velocidad de la hélice;
- la figura 3 es una ilustración esquemática (no a escala) de un mapa de la hélice para la hélice de la aeronave, que relaciona el coeficiente de potencia C_p y el coeficiente de empuje C_T de la hélice;
- 10 la figura 4 es un diagrama de flujo de proceso, que muestra ciertas etapas de otro proceso para hacer funcionar la aeronave, en las que se implementa otro proceso de determinación de la velocidad de la hélice; y
- la figura 5 es una ilustración esquemática (no a escala) de otro mapa de la hélice para la hélice 10, que relaciona el coeficiente de potencia C_p y la relación de avance J de la hélice.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

- 15 La figura 1 es una ilustración esquemática (no a escala) de un ejemplo de una aeronave 2 que se utilizará para implementar realizaciones de un proceso de determinación de la velocidad de la hélice.
- En este ejemplo, la aeronave 2 es una aeronave no tripulada. En este ejemplo, la aeronave 2 se mueve a través del aire.
- 20 En este ejemplo, la aeronave 2 comprende una serie de sensores 4 (que están representados por una sola caja en la figura 1), un procesador 6, un regulador 8 de la hélice, una hélice 10 y un motor 12.
- En esta realización, la serie de sensores 4 comprende uno o varios sensores que permiten determinar la densidad del aire a cuyo través se está moviendo la aeronave 2 (es decir, la densidad del aire atmosférico). Por ejemplo, la serie de sensores 4 comprende un sensor de la temperatura del aire y un sensor de la presión del aire, a través de cuyas mediciones se puede determinar la densidad del aire.
- 25 Asimismo, la serie de sensores 4 comprende uno o varios sensores para medir el empuje generado por la hélice 10. Asimismo, la serie de sensores 4 comprende uno o varios sensores para medir una velocidad del aire de la aeronave 2 a través del aire. Asimismo, la serie de sensores 4 comprende uno o varios sensores para medir el par motor aplicado a la hélice 10, es decir, el par motor producido por el motor 12 para accionar la hélice 10.
- Por lo tanto, en esta realización, cada sensor en la serie de sensores 4 es para medir un valor de un parámetro.
- 30 Los sensores en la serie de sensores 4 que son para medir el empuje generado por la hélice 10, la velocidad del aire de la aeronave 2 a través del aire y/o el par motor aplicado a la hélice 10 son sensores que son para medir un parámetro que está relacionado con una o varias fuerzas aplicadas a la hélice 10, o bien se obtiene por lo menos en parte a partir de la acción de la hélice 10.
- 35 Por ejemplo, el empuje producido por la aeronave 2 mediante la acción de la hélice es un parámetro que se obtiene, por lo menos en parte, a partir de la acción de la hélice 10. En este caso, el empuje está producido directamente por la acción de la hélice 10.
- Análogamente, la velocidad del aire de la aeronave 2 a través del aire (es decir, la velocidad axial de la hélice 10) es un parámetro que se obtiene, por lo menos en parte, a partir de la acción de la hélice 10. La hélice produce un empuje sobre la aeronave 2 que impulsa la aeronave 2 a través del aire, impartiendo de ese modo una velocidad del
- 40 aire a la aeronave 2. En este caso, la velocidad del aire está producida indirectamente por la acción de la hélice 10, es decir, es el resultado del empuje producido por la hélice 10. Sin embargo, en esta realización la velocidad del aire de la aeronave 2 existe debido a la acción de la hélice 10.
- Análogamente, la fuerza de resistencia sobre la aeronave 2 es un parámetro que se obtiene, por lo menos en parte, a partir de la acción de la hélice 10. La hélice 10 produce un empuje para la aeronave 2 que mueve la aeronave 2 a través del aire. El movimiento de la aeronave 2 a través del aire produce una fuerza de resistencia sobre la aeronave 2. En este caso, la resistencia sobre la aeronave 2 se produce indirectamente por la acción de la hélice 10, es decir, es resultado de que la aeronave 2 se está moviendo a través del aire, lo cual es resultado del empuje producido por la hélice 10. Sin embargo, la fuerza de resistencia sobre la aeronave 2 se debe, por lo menos en parte, a la acción de la hélice 10.
- 45 Asimismo, el par motor aplicado a la hélice 10 (es decir, por el motor 12) es una fuerza aplicada a la hélice 10, es decir, el par motor del motor es un parámetro relacionado con una fuerza aplicada a la hélice 10. En este caso, el par motor es una fuerza que actúa directamente sobre la hélice 10, o se aplica directamente a la misma.

En esta realización, el par motor aplicado a la hélice 10 es un parámetro robustamente monitorizado de la caja de engranajes (no mostrada en las figuras) de la aeronave 2.

En esta realización, la serie de sensores 4 están conectados al procesador 6.

En esta realización, el procesador 6 está conectado asimismo al regulador de la hélice 8.

5 En esta realización, la hélice 10 está conectada al motor 12 de la aeronave por medio del regulador de la hélice 8.

En esta realización, la hélice 10 es una hélice convencional de paso variable. La hélice 10 tiene dos palas de perfil aerodinámico. Asimismo, el paso de las palas de la hélice 10 está controlado por el regulador de la hélice 8.

10 En esta realización, la hélice 10 está conectada al motor 12. En funcionamiento, el motor 12 acciona la hélice 10, es decir, hace que la hélice 10 gire desplazando de ese modo la aeronave 2. En esta realización, el motor 12 que acciona la hélice (por ejemplo, un turbohélice de turbina libre) es un motor de turbina de gas. La velocidad del motor está sustancialmente desacoplada de la velocidad de la hélice, de tal modo que cada respectivo dispositivo puede ser ajustado independientemente para conseguir un rendimiento óptimo. En particular, la velocidad de la hélice se puede optimizar independientemente de los ajustes del motor. En una realización alternativa, se podría utilizar una transmisión variable continua (CVT, continuously variable transmission) en combinación con cualquier sistema motopropulsor para efectuar un desacoplamiento sustancial entre la velocidad del motor y la velocidad de la hélice.

15 Un aparato, incluyendo el procesador 6, para implementar la disposición anterior, y llevar a cabo las etapas del procedimiento que se describirán más adelante, se puede proporcionar configurando o adaptando cualquier aparato adecuado, por ejemplo uno o varios ordenadores u otro aparato de procesamiento o procesadores, y/o proporcionando módulos adicionales. El aparato puede comprender un ordenador, una red de ordenadores, o uno o varios procesadores, para implementar instrucciones y utilizar datos, incluyendo instrucciones y datos en forma de un programa informático o de una serie de programas informáticos almacenados en, o sobre un medio de almacenamiento legible a máquina, tal como una memoria informática, un disco informático, ROM, PROM, etc., o cualquier combinación de estos u otros medios de almacenamiento.

20 La figura 2 es un diagrama de flujo de proceso que muestra ciertas etapas de una realización de un proceso para hacer funcionar la aeronave 2. Este proceso comprende un proceso para determinar la velocidad de la hélice para la hélice 10.

En la etapa s2, el motor 12 acciona la hélice 10 (es decir, hace que la hélice 10 gire) a una velocidad sustancialmente constante. Por lo tanto, en esta realización, la aeronave 2 está en "crucero".

30 En la etapa s4, la serie de sensores 4 mide (o determina o calcula de alguna manera) valores para, por lo menos, cada uno de los parámetros siguientes: la densidad del aire y el empuje generado por la hélice 10.

En la etapa s6, los valores de los parámetros medidos por la serie de sensores 4 en la etapa s4 se envían desde la serie de sensores 4 al procesador 6.

En la etapa s8, utilizando los valores de los parámetros recibidos, el procesador 6 determina una velocidad de la hélice relativamente eficiente para la hélice 10.

35 La siguiente información es útil para comprender el proceso realizado por el procesador 6 en esta realización en la etapa s8. A continuación, se describirán en mayor detalle las etapas s10 y s12 de la figura 2.

Habitualmente, se puede generar para una hélice (por ejemplo, a partir de datos proporcionados por el suministrador o fabricante de la hélice) un mapa de la hélice, es decir, un gráfico o diagrama que indique algunas características del rendimiento de una hélice.

40 En esta realización, el mapa de la hélice está en forma de coeficientes adimensionales.

En general, un mapa de la hélice se puede referir a dos o más de los siguientes coeficientes adimensionales de una hélice:

1) Coeficiente de empuje C_T . En esta realización, el coeficiente de empuje de la hélice 10 se expresa como:

$$C_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} = \frac{C_P \eta_P}{J}$$

45 donde:

T es el empuje medido generado por la hélice 10

p es la densidad atmosférica del aire a cuyo través se desplaza la aeronave 2;

n es la velocidad de rotación (Hz) de la hélice 10;

D es el diámetro de la hélice 10;

C_P es el coeficiente de potencia de la hélice 10 (ver más abajo);

η_P es la eficiencia propulsiva de la hélice 10 (ver más abajo); y

5 J es la relación de avance de la hélice 10 (ver más abajo).

2) Coeficiente de potencia C_P. En esta realización, el coeficiente de potencia de la hélice 10 se expresa como:

$$C_P = \frac{P}{\rho n^3 D^5} = \frac{C_T J}{\eta_P}$$

donde: P es la potencia suministrada a la hélice 10 por el motor 12.

10 3) Coeficiente del par motor C_Q. En esta realización, el coeficiente del par motor de la hélice 10 se expresa como:

$$C_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5}$$

donde: Q es el par motor aplicado a la hélice 10.

4) Relación de avance J. En esta realización, la relación de avance de la hélice 10 se expresa como:

$$J = \frac{V}{nD} = \frac{C_P}{C_T} \eta_P$$

15 donde: V es la verdadera velocidad del aire de la aeronave 2 (es decir, la velocidad axial de la hélice 2 a través del aire).

5) (Factor de) eficiencia propulsiva η_P. En esta realización, la eficiencia propulsiva de la hélice 10 se expresa como:

$$\eta_P = \frac{C_T}{C_P} J$$

20 En esta realización, el procesador comprende (o tiene acceso a) un mapa de la hélice que relaciona el coeficiente de potencia C_P y el coeficiente de empuje C_T de la hélice 10.

25 La figura 3 es una ilustración esquemática (no a escala) de un mapa de la hélice 18 para la hélice 10, que relaciona el coeficiente de potencia C_P y el coeficiente de empuje C_T. En esta realización, el mapa de la hélice 18 está cargado en el procesador 6.

En el mapa de la hélice 18 se indican una serie de relaciones de avance J₀ a J₅ para la hélice 10. Además, en la figura 3 se muestra una línea discontinua que indica la eficiencia óptima de la hélice 10 (en lo que sigue, denominada la "línea de eficiencia óptima" e indicada en la figura 3 por el numeral de referencia 20).

30 En esta realización, la línea de eficiencia óptima 20 es aproximadamente lineal para relaciones de avance en vuelo (por ejemplo, J₂, J₃, J₄, J₅ ...) y coeficientes de empuje habituales. Por lo tanto, en esta realización la línea de eficiencia óptima 20 se aproxima utilizando un polinomio de primer orden, es decir

$$C_T = a_1 C_P + a_0$$

o

$$C_P = \frac{C_T - a_0}{a_1}$$

donde a_1 y a_0 son constantes. Los valores de estas constantes se calculan a partir del mapa de la hélice 18.

Por lo tanto, al expandir los términos en este polinomio de primer orden, se tienen las siguientes ecuaciones.

$$\frac{P}{\rho n^3 D^5} = \frac{T}{a_1 \rho n^2 D^4} - \frac{a_0}{a_1}$$

$$P = \frac{T n D}{a_1} - \frac{a_0 \rho n^3 D^5}{a_1}$$

5 Los mínimos de la ecuación anterior están dados por:

$$\frac{dP}{dn} = 0 = \frac{TD}{a_1} - \frac{3a_0 \rho n^2 D^5}{a_1}$$

Por lo tanto, la velocidad de rotación n de la hélice 10, correspondiente a la línea de eficiencia óptima aproximada 20 está dada por:

$$n^2 = \frac{T}{3a_0 \rho D^4} \quad \text{Ecuación 1}$$

10 En esta realización, la velocidad de rotación n de la hélice 10 correspondiente a la línea de eficiencia óptima aproximada 20 se determina utilizando un valor medido del empuje producido por la hélice. Sin embargo, en otras realizaciones, se puede, de hecho, estimar (o predecir) un valor para el empuje producido por la hélice. Por ejemplo, un empuje para la hélice 10 se puede estimar de hecho utilizando una polar de resistencia apropiada para la aeronave 2. De este modo, la velocidad de rotación n de la hélice 10 correspondiente a la línea de eficiencia óptima
15 aproximada 20 se puede determinar utilizando una polar de resistencia, por ejemplo:

$$n^2 = \frac{F_D}{3a_0 \rho \eta_i N D^4} \quad \text{Ecuación 2}$$

donde:

20 F_D es la fuerza de resistencia gruesa sobre la aeronave 2, es decir, la resistencia aerodinámica total sobre la aeronave 2 (sin efectos de empuje). Esto se puede determinar utilizando un modelo de resistencia para la aeronave 2 y mediciones, estimaciones y/o predicción de la verdadera velocidad del aire de la aeronave V y del peso de la aeronave 2 (incluyendo cualquier combustible y carga útil);

η_i es un factor de eficiencia de la instalación; y

N es el número de hélices en funcionamiento en la aeronave 2.

25 Ventajosamente, las ecuaciones 1 y 2 conducen a que se pueda seleccionar una velocidad de la hélice particularmente eficiente (por ejemplo, óptima). Esta velocidad de la hélice se puede seleccionar utilizando valores para el empuje producido por la hélice 10, o para la resistencia sobre la aeronave 2. Ventajosamente, el empuje es medible directamente en vuelo. Asimismo, la resistencia se puede predecir ventajosamente utilizando una polar de resistencia adecuada para la configuración de la aeronave (es decir, teniendo en cuenta los flaps, los almacenajes del tren de aterrizaje, etc.).

30 Por lo tanto, en esta realización, en la etapa s8 el procesador 6 determina una velocidad de la hélice n para la hélice 10 utilizando la ecuación 1 o la ecuación 2 anteriores. Por ejemplo, una velocidad de la hélice n para la hélice 10 se puede determinar utilizando la ecuación 1 y los valores medidos (en la etapa s4 anterior) para la densidad del aire, y el empuje generado por la hélice 10.

35 Volviendo ahora al proceso de la figura 2, en la etapa s10, el procesador 6 envía al regulador de la hélice 8 una señal correspondiente a la velocidad de la hélice determinada en la etapa s8.

En la etapa s12, el regulador de la hélice 8 ajusta el paso de las palas de la hélice 10 de tal modo que la velocidad de rotación de la hélice 10 sea sustancialmente igual a la velocidad de la hélice determinada en la etapa s8.

- En esta realización, en funcionamiento el proceso mostrado en la figura 2 y descrito anteriormente se ejecuta periódicamente, es decir, a intervalos regulares. En otras realizaciones, el proceso se puede ejecutar/repetir a intervalos irregulares. En otras palabras, la serie de sensores 4 toman mediciones a intervalos regulares. Asimismo, las variables de las ecuaciones utilizadas por el procesador 6 (es decir, las ecuaciones 1 y/o 2) se actualizan a intervalos regulares. Por lo tanto, se generan periódicamente valores actualizados para la velocidad de la hélice. Estas velocidades de la hélice se imponen a la hélice 10 mediante el regulador de la hélice 8 a medida que se generan. La ejecución repetida del proceso descrito anteriormente conduce a proporcionar una convergencia hacia una velocidad de la hélice particularmente eficiente (por ejemplo, óptima).
- De este modo, se da a conocer un proceso para hacer funcionar la aeronave 2, en el que se implementa un proceso para determinar una velocidad de la hélice.
- Una ventaja proporcionada por el proceso descrito anteriormente para hacer funcionar la aeronave 2 es que se determina una velocidad de la hélice que, cuando se impone a la hélice, lleva a que la hélice funcione ventajosamente a una eficiencia propulsiva relativamente alta (por ejemplo, de pico) mientras la aeronave está en crucero. Ventajosamente, esto conduce a reducir o minimizar la potencia del eje del motor necesaria para mantener la velocidad de crucero de la aeronave. A su vez, esto tiende a reducir o minimizar la utilización de combustible por la aeronave durante el crucero. Además, si se utiliza un sensor de empuje para medir el empuje producido por la hélice (frente a estimar el empuje utilizando un modelo de resistencia, tal como se ha descrito anteriormente con respecto a la ecuación 2), se determinan continuamente en cualquier momento y en cualesquiera condiciones (incluyendo eventos dinámicos, por ejemplo durante subidas y aceleraciones) velocidades de la hélice particularmente eficientes (por ejemplo, una velocidad óptima de la hélice), como respuesta a la posición del acelerador del motor. Esto permite a la hélice proporcionar un empuje relativamente elevado (por ejemplo, el máximo posible). A su vez, esto conduce a reducir o minimizar el tiempo transcurrido y/o el combustible consumido durante la maniobra.
- En las realizaciones anteriores, la velocidad de la hélice n para la hélice 10 se determina utilizando la ecuación 1 ó 2, y los valores de los parámetros medidos en la etapa s4. Sin embargo, en otras realizaciones, la velocidad de la hélice n para la hélice 10 se determina utilizando una ecuación apropiada diferente y/o valores medidos de parámetros diferentes.
- Lo que se describirá a continuación es otra realización en la que la velocidad de la hélice n para la hélice 10 se determina de manera diferente a la descrita en la realización anterior.
- La figura 4 es un diagrama de flujo de proceso que muestra ciertas etapas de otra realización de un proceso para hacer funcionar la aeronave 2. Este proceso comprende otro proceso para determinar una velocidad de la hélice para la hélice 10.
- En la etapa s14, el motor 12 acciona la hélice 10 (es decir, hace que la hélice 10 gire). En esta realización, la hélice 10 no es accionada por el motor 12 a velocidad sustancialmente constante. En lugar de esto, en esta realización la hélice 10 es accionada con velocidad variable (es decir, dinámica) por el motor 12. Por ejemplo, en esta realización, la aeronave 2 no está "en crucero". En lugar de esto, en esta realización, la aeronave 2 está realizando diferentes eventos, por ejemplo subidas, aceleraciones, etc.
- En la etapa s16, la serie de sensores 4 mide (o determina o calcula de algún otro modo) valores para cada uno de los parámetros siguientes: la velocidad del aire de la aeronave 2, la densidad del aire y el par motor aplicado a la hélice 10.
- En la etapa s18, los valores de los parámetros medidos por la serie de sensores 4 en la etapa s16 se envían desde la serie de sensores 4 al procesador 6.
- En la etapa s20, utilizando los valores recibidos de los parámetros, el procesador 6 determina una velocidad de la hélice relativamente eficiente para la hélice 10.
- En esta realización, el procesador comprende (o tiene acceso a) un mapa de la hélice, denominado en lo que sigue el "otro mapa de la hélice", que relaciona el coeficiente de potencia C_p y la relación de avance J de la hélice 10.
- La figura 5 es una ilustración esquemática (no a escala) de otro mapa de la hélice 22 para la hélice 10 que relaciona el coeficiente de potencia C_p y la relación de avance J . En esta realización, el otro mapa de la hélice 22 está cargado en el procesador 6.
- La línea de eficiencia óptima 20 de la hélice 10 se muestra en la figura 5.
- En esta realización, la línea de eficiencia óptima 20 es no lineal. En esta realización, la línea de eficiencia óptima 20 se aproxima utilizando un polinomio de segundo orden, es decir

$$C_p = b_2 J^2 + b_1 J + b_0$$

donde b_0 , b_1 y b_2 son constantes. Los valores de estas constantes se calculan a partir del otro mapa de la hélice 22.

Por lo tanto, al expandir los términos en este polinomio de segundo orden, se tienen las siguientes ecuaciones.

$$\frac{P}{\rho n^3 D^5} = b_2 \left(\frac{V}{nD} \right)^2 + b_1 \left(\frac{V}{nD} \right) + b_0$$

donde:

5 P es la potencia suministrada a la hélice 10 por el motor 12; y

V es la verdadera velocidad del aire de la aeronave 2.

En esta realización, se tiene asimismo la siguiente ecuación:

$$P = Q \cdot \omega = Q \cdot 2\pi n$$

donde ω es la velocidad angular de la hélice 10.

10 Por lo tanto,

$$\frac{2\pi n Q}{\rho n^3 D^5} = \left(\frac{b_2 V^2}{D^2} \right) n^{-2} + \left(\frac{b_1 V}{D} \right) n^{-1} + b_0$$

Por lo tanto,

$$b_0 n^2 + \left(\frac{b_1 V}{D} \right) n + \left(\frac{b_2 V^2}{D^2} - \frac{2\pi Q}{\rho D^5} \right) = 0$$

15 De este modo, se tiene la ecuación siguiente (tomando la raíz positiva para la velocidad de rotación n de la hélice 10):

$$n = \frac{-\left(\frac{b_1 V}{D} \right) + \sqrt{\left(\frac{b_1 V}{D} \right)^2 - 4b_0 \left(\frac{b_2 V^2}{D^2} - \frac{2\pi Q}{\rho D^5} \right)}}{2b_0} \quad \text{Ecuación 3}$$

20 Ventajosamente, la ecuación 3 conduce a hacer que se pueda seleccionar una velocidad de la hélice particularmente eficiente (por ejemplo, óptima). Esta velocidad de la hélice se puede seleccionar utilizando valores para el par motor aplicado a la hélice 10. Ventajosamente, el par motor es un parámetro robustamente monitorizado de la caja de engranajes de la aeronave 2.

Por lo tanto en esta realización, en la etapa s20 el procesador 6 determina una velocidad de la hélice n para la hélice 10 utilizando la ecuación 3 anterior.

En la etapa s22, el procesador 6 envía al regulador de la hélice 8 una señal correspondiente a la velocidad de la hélice n determinada en la etapa s20.

25 En la etapa s24, el regulador de la hélice 8 ajusta el paso de las palas de la hélice 10 de tal modo que la velocidad de rotación de la hélice 10 sea sustancialmente igual a la velocidad de la hélice determinada en la etapa s20.

30 En esta realización, en funcionamiento el proceso mostrado en la figura 4 y descrito anteriormente se ejecuta/repite periódicamente, es decir, a intervalos regulares. En otras realizaciones, el proceso se puede ejecutar/repitar a intervalos irregulares. En otras palabras, en esta realización la serie de sensores 4 toman mediciones a intervalos regulares. Asimismo, las variables en la ecuación utilizada por el microprocesador 6 (es decir, la ecuación 3) se actualizan a intervalos regulares. Por lo tanto, se generan periódicamente valores actualizados para la velocidad de la hélice. Estas velocidades de la hélice se imponen a la hélice 10 mediante el regulador de la hélice 8 a medida que se generan. En esta realización, cambiar la velocidad de rotación de la hélice 10 conduce a cambiar el par motor aplicado a la hélice 10. Por lo tanto, ejecutar el proceso periódicamente conduce ventajosamente a proporcionar una
35 convergencia a una velocidad de la hélice particularmente eficiente (por ejemplo, óptima).

De este modo, se da a conocer otro proceso para hacer funcionar la aeronave 2, en el que se implementa un proceso para determinar una velocidad de la hélice.

5 Un parámetro que tiende a no ser "adimensional" en un mapa de la hélice es el "número de Mach en la punta". Sin embargo, la línea de eficiencia óptima en un mapa de la hélice suele ser sustancialmente invariante bajo Mach a las velocidades de vuelo habituales. Por lo tanto, en otras realizaciones, se puede utilizar una línea de eficiencia óptima que se ajusta sobre valores de Mach promedio para determinar una velocidad de la hélice. En realizaciones en las que el Mach en la punta tiende a ser un parámetro significativo (por ejemplo, cuando la aeronave vuela a velocidades muy subsónicas), se pueden determinar ventajosamente velocidades de la hélice eficientes y los correspondientes valores de Mach en la punta se pueden deducir sin la utilización de las ecuaciones descritas anteriormente (ecuaciones 1 a 3). Tiende a existir un error entre el Mach en la punta deducido y el Mach en la punta en el que está basado el mapa de la hélice. Se puede interpolar una nueva velocidad de la hélice eficiente (es decir, que corresponde a un error cero entre el Mach en la punta deducido a partir de un mapa de la hélice y el Mach en la punta en el que se basa el mapa de la hélice) a partir de una serie de diferentes mapas de la hélice (correspondientes a diferentes valores de Mach en la punta) y de las correspondientes velocidades de la hélice.

15 Una ventaja proporcionada por los procesos descritos anteriormente es que conducen a proporcionar ventajosamente la integración de la hélice, del sistema motopropulsor/motor y del fuselaje o de la aeronave. Se da a conocer un procedimiento para aumentar la eficiencia de la hélice variando la velocidad de la hélice para un vehículo no tripulado.

20 Una ventaja proporcionada por la otra realización es que conduce a determinar continuamente en cualquier momento, y en cualesquiera condiciones (incluyendo eventos dinámicos, por ejemplo durante subidas y aceleraciones) velocidades de la hélice particularmente eficientes (por ejemplo, una velocidad de la hélice óptima), como una respuesta a la posición del acelerador del motor. Esto hace que la hélice proporcione un empuje relativamente elevado (por ejemplo, el máximo posible). A su vez, esto conduce a reducir o minimizar el tiempo transcurrido y/o el combustible consumido durante la maniobra.

25 Una ventaja proporcionada por los procesos descritos anteriormente para hacer funcionar una aeronave es que la hélice de la aeronave se hace funcionar a una velocidad relativamente eficiente mientras la aeronave está en crucero. Esto conduce a hacer que la hélice funcione a una eficiencia propulsiva relativamente alta (por ejemplo, de pico). Esto conduce a minimizar la potencia del eje del motor y la utilización de combustible. La otra realización del proceso para hacer funcionar la aeronave conduce además a hacer que se implemente la velocidad de la hélice relativamente eficiente mientras la aeronave ejecuta maniobras tales como subidas y aceleraciones. Esto conduce a hacer que se proporcione un empuje relativamente alto durante dichas maniobras. Esto conduce asimismo a hacer que el tiempo que se tarda en ejecutar dichas maniobras, y/o la cantidad de combustible consumido durante dichas maniobras, se reduzca o minimice ventajosamente.

35 Otra ventaja proporcionada por los procesos descritos anteriormente para hacer funcionar una aeronave es que se explotan diagramas de hélice adimensionales para proporcionar expresiones matemáticas relativamente simples que prescriben velocidades de la hélice relativamente eficientes (u óptimas) de un sistema físico, dimensional. Los valores de los parámetros utilizados en la expresión matemática suelen estar disponibles a partir del sistema de datos aeronáuticos y/o de la instrumentación del motor.

40 Los procesos descritos anteriormente están dirigidos a ser particularmente ventajosos cuando se implementan para vehículos/sistemas con altas fracciones de combustible y/o con cargas útiles pequeñas, por ejemplo vehículos aéreos no tripulados (UAVs, unmanned air vehicles) de gran autonomía. Por ejemplo, los procesos descritos anteriormente están dirigidos a ser particularmente ventajosos cuando se implementan para un UAV con una fracción de combustible de aproximadamente el 50 % y/o una fracción de carga útil de aproximadamente el 15 %. En los vehículos/sistemas con altas fracciones de combustible y/o cargas útiles pequeñas, a medida que se mejora la eficiencia, el porcentaje del peso de la aeronave que se compone de combustible se puede sustituir por carga útil. Por lo tanto, para un peso fijo del vehículo, se puede transportar una mayor carga útil. Alternativamente, para una masa de carga útil fija, se puede utilizar un vehículo más ligero y/o de menor escala para transportar dicha carga útil.

50 Los procesos descritos anteriormente están dirigidos a ser particularmente ventajosos cuando se implementan para vehículos/sistemas con requisitos inhomogéneos. Por ejemplo, los procesos descritos anteriormente están dirigidos a ser particularmente beneficiosos cuando se implementan sobre una aeronave a la que se permite sólo una corta distancia para despegar. Una aeronave de este tipo puede utilizar una hélice relativamente grande para el despegue. Esta hélice puede ser mayor que la requerida cuando la aeronave está en crucero.

55 Los procesos descritos anteriormente están dirigidos a ser particularmente ventajosos cuando se implementan para vehículos/sistemas que están funcionando en una situación para la que no están diseñados. Por ejemplo, los procesos dados a conocer anteriormente están dirigidos a ser particularmente beneficiosos cuando se implementan en una aeronave que viaja a velocidades, o a una altura, mucho mayores o menores que aquellas para las que ha sido diseñada.

Otra ventaja proporcionada por el proceso descrito anteriormente es que el ruido (de la hélice/del motor) tiende a minimizarse o reducirse, por ejemplo mientras la aeronave está en crucero. Este ruido reducido suele resultar de una

potencia reducida del motor (por medio de una eficiencia aumentada). Asimismo, este ruido reducido suele resultar del número de Mach en la punta de la hélice minimizado o reducido.

5 Otra ventaja proporcionada por el proceso descrito anteriormente es que conduce a facilitar el proceso de dimensionar el vehículo y/o la hélice. Además, los procesos descritos anteriormente están dirigidos a ser fáciles de incorporar en herramientas de diseño del vehículo y/o de la hélice.

10 Se debe observar que algunas de las etapas de proceso representadas en el diagrama de flujo de las figuras 2 y 4 y descritas anteriormente se pueden omitir, o las etapas de proceso se pueden ejecutar en un orden diferente al presentado anteriormente y mostrado en las figuras. Además, aunque por comodidad y facilidad de comprensión todas las etapas del proceso se han representado como etapas secuenciales discretas temporalmente, sin embargo algunas de las etapas de proceso pueden de hecho ejecutarse simultáneamente o por lo menos solapando temporalmente en alguna medida.

15 En las realizaciones anteriores, se implementa para una aeronave el proceso de determinación de una velocidad de la hélice relativamente eficiente. La aeronave es una aeronave no tripulada. Sin embargo, en otras realizaciones se determina una velocidad de la hélice relativamente eficiente para una hélice implementada en un sistema diferente. Ejemplos de otros sistemas apropiados incluyen vehículos diferentes, por ejemplo un vehículo basado en agua. Los vehículos pueden ser tripulados o no tripulados. Otros ejemplos de otros sistemas apropiados incluyen un rodete o una turbina, por ejemplo, la hélice se puede implementar incluyendo sistemas de aire acondicionado, de turbina de gas, de turbocompresor y/o de sobrealimentación y similares.

20 En las realizaciones anteriores, la serie de sensores comprende uno o varios sensores para medir la velocidad del aire de la aeronave, la densidad del aire, el empuje generado por la hélice y el par motor aplicado a la hélice. Sin embargo, en otras realizaciones, la serie de sensores comprende uno o varios sensores para medir un conjunto de los parámetros enumerados. Por ejemplo, en otras realizaciones, la serie de sensores comprende uno o varios sensores para medir la densidad del aire, y el empuje generado por la hélice. Asimismo, en otras realizaciones, la serie de sensores comprenden uno o varios sensores para medir la velocidad del aire de la aeronave y el par motor aplicado a la hélice.

25 En otras realizaciones, la serie de sensores comprenden uno o varios sensores para medir parámetros diferentes a los enumerados. Dichos parámetros diferentes pueden ser medidos en lugar, o además de uno o varios de los medidos en las realizaciones anteriores, de tal modo que se proporcione la funcionalidad descrita anteriormente.

30 En las realizaciones anteriores, la hélice es una hélice convencional de paso variable. El paso de las palas de la hélice está controlado por el regulador de la hélice para controlar la velocidad de rotación de la hélice. Asimismo, la hélice tiene dos palas de perfil aerodinámico. Sin embargo, en otras realizaciones la hélice es un diferente tipo de hélice. Asimismo, en otras realizaciones la hélice tiene un número diferente de palas de perfil aerodinámico. En otras realizaciones, la hélice es una variación de una hélice de paso variable (por ejemplo, un rotor abierto o un turboventilador, etc.).

35 En las realizaciones anteriores, la expresión utilizada para determinar una velocidad relativamente eficiente para la hélice se deduce aproximando una línea de eficiencia óptima utilizando bien una ecuación polinómica de primer orden, es decir lineal (que relaciona el coeficiente de empuje y el coeficiente de potencia de la hélice), o una ecuación polinómica de segundo orden, es decir cuadrática (que relaciona el coeficiente de potencia y la relación de avance de la hélice). Asimismo, en las realizaciones anteriores la expresión utilizada para determinar la velocidad de la hélice relativamente eficiente es cualquiera de la ecuación 1, la ecuación 2 o la ecuación 3 (proporcionadas anteriormente). Sin embargo, en otras realizaciones la expresión/fórmula utilizada para determinar una velocidad de la hélice relativamente eficiente se obtiene de manera diferente. Por ejemplo, aproximando una línea de eficiencia óptima utilizando una función adecuada diferente, por ejemplo un polinomio de orden diferente. Asimismo, en otras realizaciones la velocidad de la hélice se puede determinar de manera diferente, por ejemplo utilizando una o varias fórmulas, expresiones o ecuaciones adecuadas que satisfagan la aproximación a la línea de eficiencia óptima, o resolviendo la aproximación de la línea de eficiencia óptima utilizando un procedimiento numérico.

40 En las realizaciones anteriores, el regulador de la hélice ajusta el paso de las palas de la hélice de tal modo que la velocidad de rotación de la hélice sea sustancialmente igual a la velocidad de la hélice relativamente eficiente determinada. Sin embargo, en otras realizaciones el regulador de la hélice ajusta el paso de las palas de la hélice de manera diferente, dependiendo de la velocidad de la hélice relativamente eficiente determinada. Por ejemplo, en otras realizaciones la velocidad de rotación de la hélice se ajusta hasta que está dentro de un intervalo predeterminado de umbrales de la velocidad de la hélice relativamente eficiente determinada. En otras realizaciones, la velocidad de rotación se modifica, por ejemplo mediante el regulador de la hélice, hacia la velocidad de la hélice relativamente eficiente determinada, hasta que se satisfacen ciertos criterios, por ejemplo hasta que el error del par motor de la hélice es menor que un umbral predeterminado.

55 En otras realizaciones, utilizando la velocidad de la hélice relativamente eficiente determinada, se determina (por ejemplo, mediante el procesador) y se implementa (por ejemplo, mediante el regulador de la hélice) una estrategia de control para variar la velocidad de la hélice. Esto se puede llevar a cabo, por ejemplo, utilizando mediciones de la

dinámica del vehículo. Esto conduce ventajosamente a evitar una dinámica inestable del vehículo, por ejemplo oscilaciones inducidas por el piloto.

5 En otras realizaciones, un proceso descrito anteriormente para determinar la velocidad de la hélice y variar la velocidad de la hélice dependiendo de dicho valor determinado se puede implementar de manera "escalonada". De este modo, se implementa un proceso descrito anteriormente y se varía (escalonadamente) la velocidad de rotación de la hélice entre velocidades de la hélice discretas (por ejemplo, según la velocidad de la hélice relativamente eficiente determinada tiende hacia dichas velocidades discretas). Dicho procedimiento está dirigido a no utilizar ningún análisis del comportamiento del vehículo.

10 Además, frente a determinar una velocidad de la hélice utilizando una ecuación descrita anteriormente, una velocidad de la hélice se puede determinar de manera diferente, por ejemplo, a partir de una tabla de consulta. Dicho procedimiento está dirigido a ser ventajosamente simple. Por ejemplo, se puede encontrar una velocidad de la hélice en una tabla de consulta en función de valores medidos de la densidad del aire, la velocidad del aire, etc. Una tabla de consulta puede tener en cuenta la configuración de un vehículo/aeronave (por ejemplo, consumibles, sensores, flaps, tren de aterrizaje, resistencia del vehículo, etc.).

15 En las realizaciones anteriores, en funcionamiento el proceso mostrado en el diagrama de flujo descrito anteriormente (es decir, las figuras 2 ó 4) se ejecuta/repite periódicamente, es decir a intervalos regulares (discretos). Sin embargo, en otras realizaciones el procedimiento se lleva a cabo de manera diferente. Por ejemplo, en otras realizaciones el proceso se ejecuta continuamente. Asimismo, en otras realizaciones el proceso no se repite.

20

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para hacer funcionar una hélice (10) de aeronave, moviéndose la hélice (10) a través de un fluido, comprendiendo el procedimiento:

medir un valor de una propiedad del fluido;

5 medir un valor de un parámetro, estando el parámetro relacionado con una o varias fuerzas aplicadas a la hélice (10) o siendo obtenido, por lo menos en parte, a partir de la acción de la hélice (10);

utilizando el valor medido de la propiedad del fluido y el valor medido del parámetro, determinar una velocidad de rotación para la hélice (10); y

10 controlar la hélice (10) de tal modo que la velocidad de rotación de la hélice sea igual a la velocidad de rotación determinada.

2. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que la etapa de medir un valor para el parámetro comprende medir un valor para el empuje producido, por lo menos en parte, por la acción de la hélice (10).

15 3. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que la etapa de medir un valor para el parámetro comprende medir un valor de un parámetro relacionado con la resistencia producida, por lo menos en parte, por la acción de la hélice (10).

4. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que la etapa de medir un valor para el parámetro comprende medir un valor para un par motor aplicado a la hélice (10), y medir un valor para una velocidad producida, por lo menos en parte, por la acción de la hélice (10).

20 5. Un procedimiento según la reivindicación 2, en el que determinar una velocidad de rotación para la hélice (10) comprende calcular:

$$n^2 = \frac{T}{3a_0\rho D^4}$$

donde:

n es la velocidad de rotación para la hélice (10)

T es el empuje medido producido por la acción de la hélice (10);

25 ρ es la densidad del fluido;

D es el diámetro de la hélice; y

a_0 es una constante.

6. Un procedimiento según la reivindicación 3, en el que determinar una velocidad de rotación para la hélice (10) comprende calcular:

$$n^2 = \frac{F_D}{3a_0\rho\eta_i ND^4}$$

30

donde:

n es la velocidad de rotación para la hélice (10)

F_D es una fuerza de resistencia;

η_i es un factor de eficiencia de la instalación;

35 N es el número total de hélices (10);

ρ es la densidad del fluido;

D es el diámetro de la hélice (10); y

a_0 es una constante.

40 7. Un procedimiento según la reivindicación 4, en el que determinar una velocidad de rotación para la hélice (10) comprende calcular:

$$n = \frac{-\left(\frac{b_1 V}{D}\right) + \sqrt{\left(\frac{b_1 V}{D}\right)^2 - 4b_0 \left(\frac{b_2 V^2}{D^2} - \frac{2\pi Q}{\rho D^5}\right)}}{2b_0}$$

donde:

n es la velocidad de rotación para la hélice (10)

V es el valor medido para la velocidad producida por la acción de la hélice (10);

5 Q es el valor medido para el par motor aplicado a la hélice (10);

ρ es la propiedad densidad del fluido;

D es el diámetro de la hélice (10);

b_0 es una constante;

b_1 es una constante; y

10 b_2 es una constante.

8. Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, en el que se determina una constante aproximando una eficiencia óptima de la hélice utilizando un polinomio, siendo la constante un coeficiente de un término del polinomio.

15 9. Un procedimiento según cualquier reivindicación anterior, en el que la hélice (10) es una hélice (10) de una aeronave no tripulada (2).

10. Un procedimiento según cualquier reivindicación anterior, en el que la hélice es accionada por un motor de turbina de gas.

11. Un procedimiento según la reivindicación 10, en el que la hélice es una turbohélice de turbina libre.

20 12. Un aparato para hacer funcionar una hélice de aeronave, moviéndose la hélice a través de un fluido, comprendiendo el aparato:

uno o varios sensores (4) dispuestos para:

medir un valor de una propiedad del fluido; y

medir un valor de un parámetro, estando el parámetro relacionado con una o varias fuerzas aplicadas a la hélice (10) o siendo obtenido, por lo menos en parte, a partir de la acción de la hélice (10);

25 uno o varios procesadores configurados para, utilizando el valor medido de la propiedad del fluido y el valor medido del parámetro, determinar una velocidad de rotación para la hélice (10); y

medios para controlar la hélice (10), de tal modo que la velocidad de rotación de la hélice sea igual a la velocidad de rotación determinada.

30 13. Un medio de almacenamiento legible a máquina, que almacena un programa o una serie de programas dispuestos de tal modo que cuando son ejecutados por un sistema informático o por uno o varios procesadores, hacen que el sistema informático o dichos uno o varios procesadores funcionen de acuerdo con el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.

Fig. 1

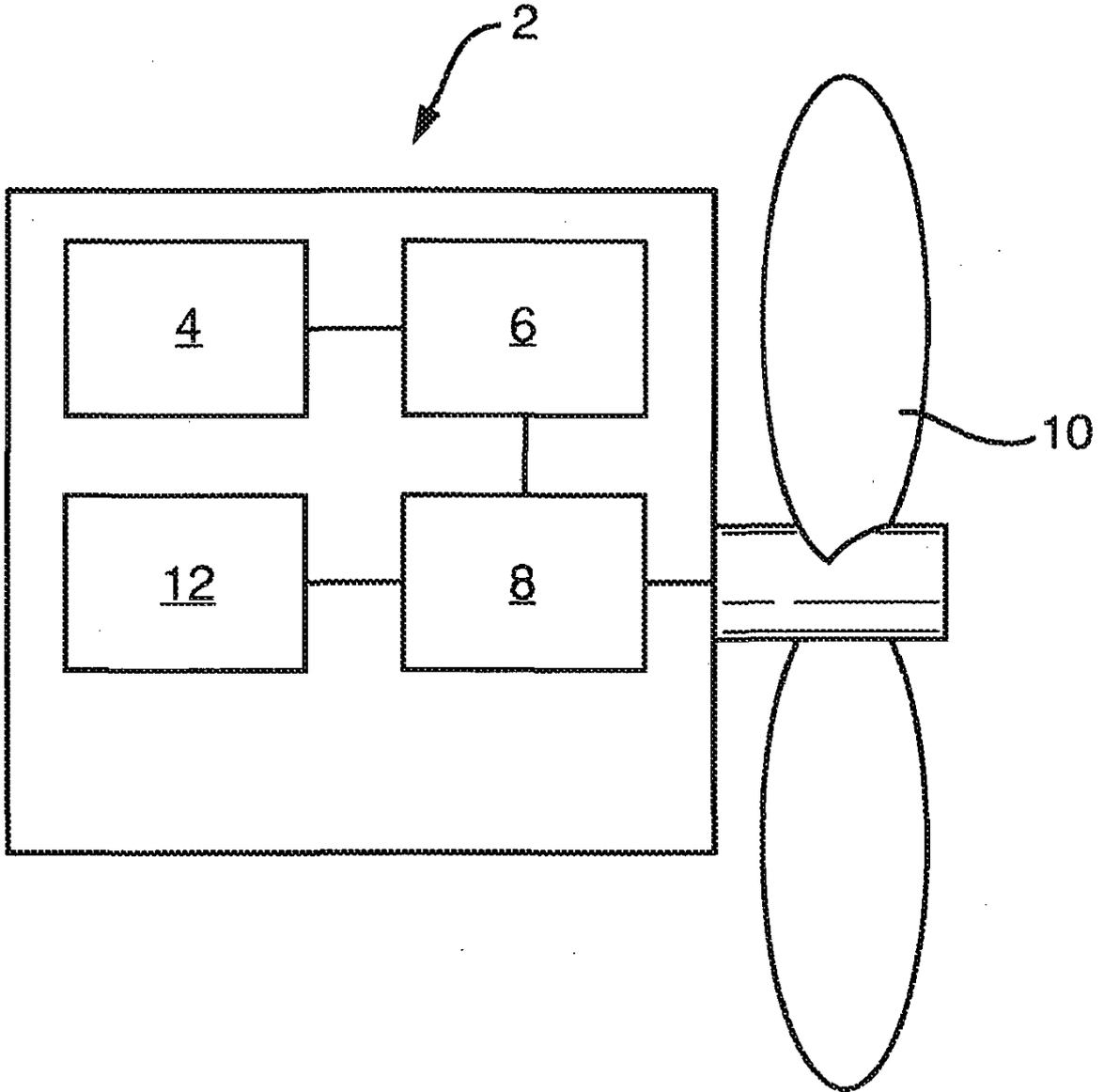


Fig. 2

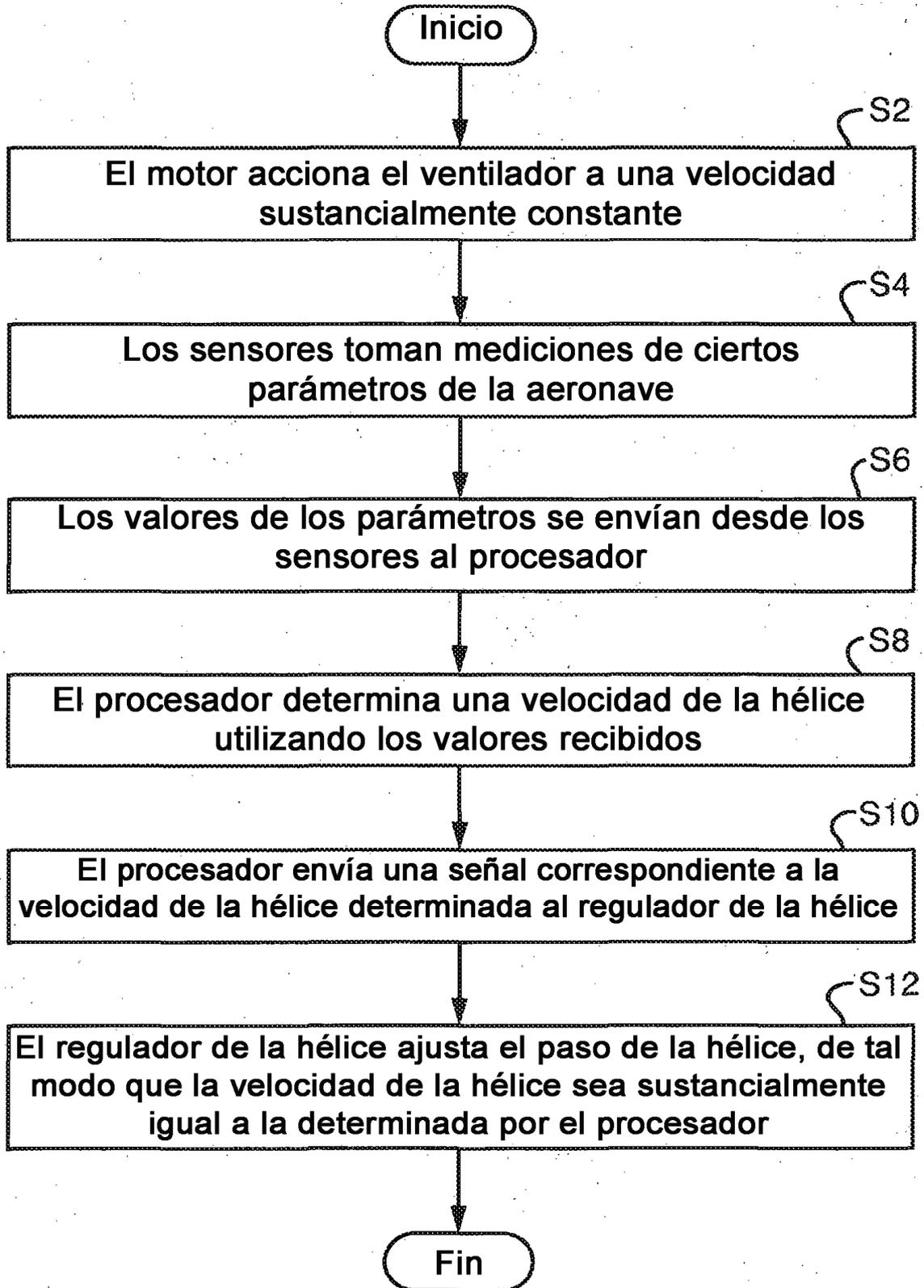


Fig. 3

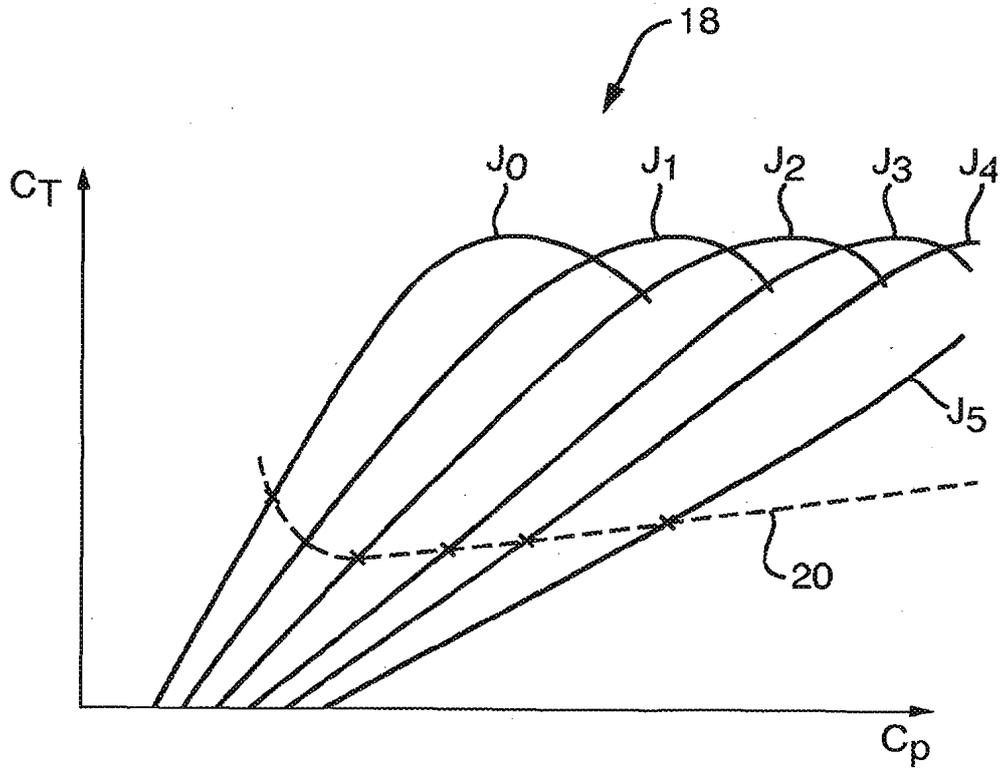


Fig. 5

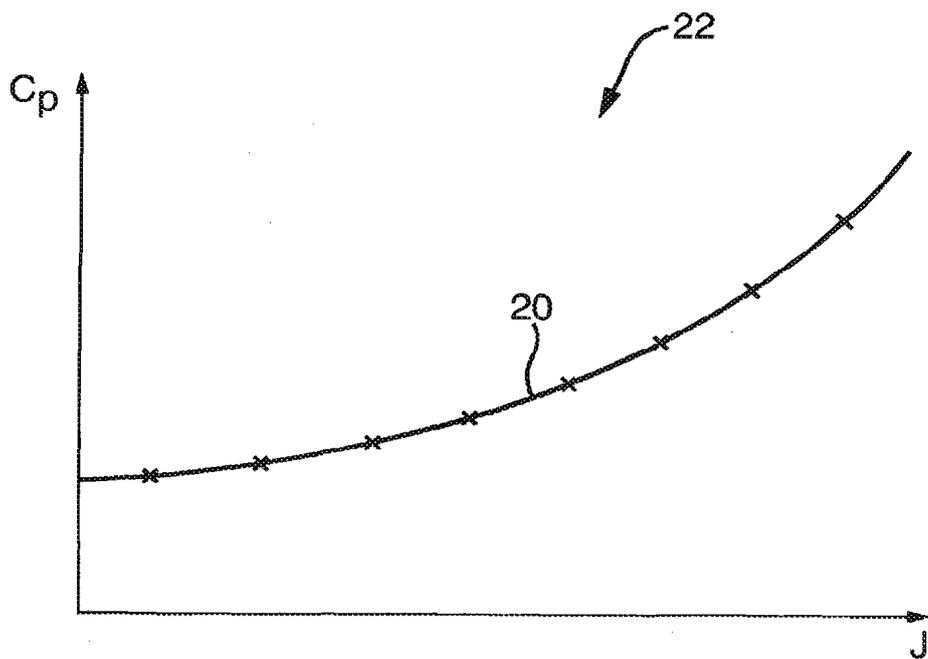


Fig. 4

