

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 384 272**

51 Int. Cl.:  
**G01M 7/00** (2006.01)  
**G01M 17/007** (2006.01)  
**B64F 5/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **07023099 .0**  
96 Fecha de presentación: **29.11.2007**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1930711**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **11.06.2008**

54 Título: **Procedimiento para la obtención de datos para la autorización de una aeronave**

30 Prioridad:  
**08.12.2006 DE 102006057888**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**03.07.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**03.07.2012**

73 Titular/es:  
**DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND  
RAUMFAHRT E.V.  
LINDER HÖHE  
51147 KÖLN, DE**

72 Inventor/es:  
**Dietz, Guido;  
Göge, Dennis;  
Böswald, Marc y  
Govers, Yves**

74 Agente/Representante:  
**Carpintero López, Mario**

ES 2 384 272 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).

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la obtención de datos para la autorización de una aeronave

**Campo técnico de la invención**

5 La invención se refiere a un procedimiento para la obtención de datos para la autorización de una aeronave con las características del preámbulo de la reivindicación 1.

En lugar de la denominación aeronave se usa en lo sucesivo parcialmente también la denominación avión, teniéndose que considerar en el presente documento homólogos los significados de ambos términos. Especialmente, con los dos términos se quiere decir en el presente documento objetos con capacidad de volar que disponen de un tren de aterrizaje, con el que pueden rodar sobre el suelo, particularmente una pista de rodadura. 10 Esto incluye básicamente aerodinos. Particularmente, sin embargo, la presente invención se refiere a procedimientos para la obtención de datos para la autorización de aeronaves con disposiciones de alas rígidas o, en todo caso, parcialmente rotatorias. A este respecto, los denominados aviones de gran capacidad se encuentran en un punto de mira muy particular.

**Estado de la técnica**

15 En el marco de la autorización de un avión se tiene que comprobar para su zona operacional que no pueda aparecer flameo y esté garantizado un funcionamiento seguro del avión. Los análisis de estabilidad a flameo requeridos para esto se llevan a cabo basándose en datos modales que describen las propiedades dinámicas estructurales de una estructura de avión del avión en el intervalo de frecuencias relevante. Por datos modales se entiende en este contexto frecuencias naturales, modos naturales, medidas de amortiguación modales y masas modales. Los datos 20 modales pueden medirse directamente en un denominado ensayo de vibración en tierra o determinarse con el análisis numérico de un modelo de elementos finitos (EF) de la estructura del avión.

Durante la autorización de aviones de gran capacidad modernos se lleva a cabo el análisis de estabilidad a flameo por norma general basándose en un modelo de EF de este tipo. El uso de este modelo analítico se prefiere el marco de procedimientos de certificación de flameo de aviones de gran capacidad frente al uso directo de datos modales medidos, ya que un modelo analítico ofrece una mayor flexibilidad para poder tratar en detalle modificaciones 25 estructurales de la construcción del avión, por ejemplo, en el marco de construcciones de variantes en una familia de aviones, o diferentes distribuciones de masa debido a estados de carga o relleno con combustible. Sin embargo, un modelo de EF validado de la estructura del avión es una condición para esto.

30 Para la validación de modelos de EF de estructuras de avión se usaron hasta ahora los datos modales experimentales de ensayos de vibración en tierra. La calidad del respectivo modelo de EF se valora a este respecto mediante las desviaciones que aparecen entre datos modales medidos reales y datos modales analíticos que se simularon con ayuda del modelo de EF. Si las desviaciones son lo suficientemente pequeñas se considera validado el modelo de EF. Con mayores desviaciones se adapta el modelo de EF de tal manera que las desviaciones se hacen lo suficientemente pequeñas. Con este procedimiento se habla de la actualización del modelo de EF.

35 Un ensayo de vibración en tierra en un avión de gran capacidad es extremadamente complejo en cuanto a tiempo y costes. En un ensayo de vibración en tierra de este tipo, que se denomina también Ground Vibration Test (GVT), se excita hasta dar vibraciones la estructura del avión con accionadores colocados de forma acertada. Las vibraciones de la estructura del avión se registran con sensores de aceleración individuales. Con ayuda del análisis modal se determinan a partir de los valores de medición de los sensores de aceleración las propiedades dinámicas 40 estructurales frecuencias naturales, modos naturales, medidas de amortiguación modales y masas modales. Habitualmente se usan para el análisis modal funciones de transferencia, por ejemplo, entre fuerzas como referencia o entrada en el sistema y aceleraciones como respuestas o salida del sistema. Los datos modales obtenidos a partir de esto se usan después para la validación o adaptación de un modelo de EF del avión. El tiempo y material necesarios para ensayos de vibración en tierra en aviones de gran capacidad no solamente son elevados debido a que para esto típicamente se tienen que colocar y cablear múltiples sensores de aceleración. También las propias mediciones requieren mucho tiempo. Ya que los ensayos de vibración en tierra se llevan a cabo típicamente solo justo antes del primer vuelo de un nuevo modelo de avión y los fabricantes de aviones realizan un gran esfuerzo para llevar a la práctica el primer vuelo dentro de plazo debido a su repercusión pública, cualquier ahorro de tiempo que se pueda realizar en este caso sería muy bienvenido.

50 Además de los ensayos de vibración en tierra, para la obtención de datos para la autorización de aviones son habituales ensayos de rodadura para la cualificación de los trenes de aterrizaje del avión y su suspensión. El objetivo de estos ensayos de rodadura es la comprobación y cualificación de los trenes de aterrizaje y de los grupos motor incluyendo sus suspensiones. Actualmente no se persiguen otros planteamientos de objetivos con ensayos de rodadura en el marco de la obtención de datos para la autorización de un avión.

55 Por el documento DE 101 54 337 A1 se conoce cómo determinar formas de movimiento globales elásticas de vehículos a motor durante la marcha. Para esto se miden las vibraciones que aparecen en el vehículo o partes del mismo durante la marcha sobre terreno irregular y los datos de medición se someten a un análisis de señal con el

enfoque del análisis modal suponiendo una cantidad de formas de movimiento globales.

5 Por el documento EP 1 250 579 B1 se conoce un procedimiento para el análisis de vibraciones que se denomina análisis modal solo de salida (output only). A diferencia de un análisis modal habitual basado en funciones de transferencia entre una entrada al sistema y una salida del sistema en este caso se pone como base para el análisis modal solamente la salida del sistema. Como entrada al sistema se supone a este respecto un ruido blanco.

10 Por el documento DE 42 40 600 C1 se conoce un procedimiento para reconocer y valorar debilidades estructurales de aviones, en el que se establece un modelo de elementos finitos (EF) de una estructura de avión del avión y en el que se llevan a cabo ensayos de vibración para la validación del modelo de EF, en los que la estructura del avión se excita hasta dar vibraciones mediante señales de excitación por un generador y se registran las vibraciones excitadas de la estructura del avión. A este respecto, a partir del modelo de elementos finitos de la estructura del avión se calculan modos de vibración que sirven como modos de vibración de referencia. Estas se comparan con modos de vibración que se obtienen en un análisis modal de la estructura del avión y con desviaciones entre los modos de vibración se adapta el modelo de elementos finitos.

15 Por el documento DE 101 54 337 A1 se conoce un procedimiento para la objetivación de las propiedades dinámicas de un vehículo a motor, en el que las vibraciones que aparecen durante una marcha del vehículo a motor en el vehículo o en partes del mismos se registran con técnica de medición como datos de medición y los datos de medición se someten a un análisis de señal, en el que componentes espaciales individuales de las vibraciones se extraen mediante cálculo de los datos de medición. De este modo se pueden diferenciar entre sí distintos modos de vibraciones. Se tienen en cuenta entonces con una coordinación equilibrada de los componentes influyentes, tales como, por ejemplo, tren de aterrizaje y carrocería, para la consecución de un elevado confort de marcha.

20 Por el documento US 6.619.127 B2 se conoce un dispositivo para ensayos de vibración en tierra en el que la estructura a ensayar se aloja colgando de un mecanismo de elevación. Mediante la configuración flexible del mecanismo de elevación se quiere asegurar que los datos modales de la estructura de apoyo se encuentren claramente por debajo de los datos modales de la estructura a ensayar, en cuyo caso puede tratarse de un avión.

25 Por el documento EP 0 299 436 B1 se conoce un dispositivo para la excitación de estados de flameo en una aeronave, que presenta un cilindro rotatorio con dos ranuras de salida de aire para excitar mediante el aire que sale mediante flujo los estados de flameo que interesan con dinámica de flujo.

30 Por el documento "Non-Stationary response of a variable section flexible wing aircraft over uneven elastic track", Yadav y col., Journal of Sound and Vibration (1998), 210(1), 117-135 se conoce cómo modelar vibraciones reducidas mediante irregularidades del suelo de una aeronave.

### **Objetivo de la invención**

La invención se basa en el objetivo de indicar un procedimiento para la obtención de datos para la autorización de una aeronave con las características del preámbulo de la reivindicación 1, en el que la complejidad practicada para la validación del modelo de EF de la estructura del avión está claramente reducida.

### **Solución**

El objetivo de la invención se resuelve mediante un procedimiento con las características de la reivindicación 1. Están definidos ejemplos de realización preferentes del nuevo procedimiento en las reivindicaciones dependientes 2 a 7.

### **Exposición de la invención**

40 En el nuevo procedimiento se lleva a cabo al menos una parte de los ensayos de vibración para la validación del modelo de EF en el marco de los ensayos de rodadura, excitándose la estructura del avión mediante rodadura de los trenes de aterrizaje sobre irregularidades de suelo hasta dar vibraciones. Llevándose a cabo al menos una parte de los ensayos de vibración en el marco de los ensayos de rodadura se reduce el tiempo necesario adicional para los ensayos de vibración, ya que de todos modos se acometen los ensayos de rodadura y el tiempo consumido para los mismos.

45 Ocurre incluso que todos los ensayos de vibración para la validación del modelo de EF de una estructura de avión se pueden llevar a cabo en el marco de ensayos de rodadura. De este modo puede aumentar el gasto de tiempo para los ensayos de rodadura. Ya que, sin embargo, al mismo tiempo se puede omitir completamente un ensayo de vibración en tierra, a pesar de esto se obtienen ahorros de tiempo muy considerables.

50 En los ensayos de vibraciones puede efectuarse un análisis modal de entrada/salida habitual mediante el uso de valores de carga y deformación de tren de aterrizaje, que se miden con sensores necesarios para los ensayos de rodadura. También en los actuales ensayos de rodadura se usan ya sensores en los trenes de aterrizaje que son básicamente adecuados para la determinación de la entrada en la estructura del avión. Incluso cuando se usan para la puesta en práctica del nuevo procedimiento en este caso sensores adicionales para obtener datos más extensos

para la entrada en la estructura del avión, esto en comparación con el ensayo de vibración en tierra ahorrado todavía es un gasto pequeño.

Además también es posible en el nuevo procedimiento evaluar los ensayos de vibración en forma de un análisis modal solo de salida.

5 Para crear las condiciones para la aplicación de un análisis modal solo de salida, sin embargo, también para garantizar que todos los modos naturales de vibración relevantes de la estructura del avión se exciten en el marco de los ensayos de rodadura, los trenes de aterrizaje para los ensayos de vibración se pueden hacer rodar sobre carriles con irregularidades definidas. Estas irregularidades definidas pueden estar compuestas, por ejemplo, de ondulaciones periódicas de amplitud fija, una rugosidad estadística o saltos en altura individuales.

10 La salida de la estructura del avión, es decir, las vibraciones excitadas, puede registrarse al menos en parte con sensores de aceleración en la estructura del avión que se usan también en los posteriores ensayos de vuelo. También en este sentido se realiza por tanto un uso múltiple de sensores.

15 Particularmente cuando se usan para el registro de las vibraciones excitadas en el nuevo procedimiento sensores de aceleración adicionales se prefiere que los mismos se consulten teleméricamente. Es una posibilidad preferente adicional registrar las vibraciones excitadas mediante procedimientos ópticos. A este respecto, los procedimientos ópticos pueden estar asistidos tanto en el avión como asistidos en tierra.

20 Se obtienen perfeccionamientos ventajosos de la invención a partir de las reivindicaciones, la descripción y los dibujos. Las ventajas que se han mencionado en la introducción de la descripción de características y de combinaciones de varias características son únicamente ilustrativas y pueden ser eficaces de forma alternativa o acumulativa sin que se tengan que conseguir las ventajas de forma necesaria por formas de realización de acuerdo con la invención. Otras características se pueden obtener de los dibujos –particularmente las geometrías representadas y las dimensiones relativas de varias piezas de construcción entre sí así como su disposición relativa y unión eficaz. La combinación de características de diferentes formas de realización de la invención o de características de diferentes reivindicaciones es posible asimismo apartándose de las referencias seleccionadas de las reivindicaciones y se sugiere con esto. Esto se refiere también a las características que están representadas en dibujos independientes o que se mencionan en su descripción. Estas características pueden combinarse también con características de diferentes reivindicaciones. Asimismo pueden omitirse características indicadas en las reivindicaciones para otras formas de realización de la invención.

### **Breve descripción de las figuras**

30 La invención se explica con más detalle y se describe a continuación mediante ejemplos de realización concretos con referencia al dibujo adjunto.

La **Fig. 1** esquematiza el concepto del nuevo procedimiento para la obtención de datos para la autorización de una aeronave.

### **Descripción de un ejemplo de realización**

35 En la estructura de avión 1 de un prototipo de un avión 2 se aplican múltiples sensores de aceleración 3. Los sensores de aceleración 3 se aplican a este respecto en parte en posiciones en las que se necesitan para ensayos de vuelo posteriores del avión 2. Se aplican otros sensores de aceleración 3 donde se obtiene, debido a la distribución en el espacio de los puntos de medición adicionales, una resolución espacial lo suficientemente buena, es decir, observabilidad de los modos naturales excitados. Durante la selección de los puntos de medición adicionales debe tenerse en cuenta también una buena capacidad de diferenciación de los modos naturales excitados en el sentido de independencias lineales (denominado criterio de confianza modal (Modal Assurance Criterion)) de los vectores naturales a medir. En el marco de ensayos de rodadura que sirven en origen para la cualificación de trenes de aterrizaje 5 del avión 2 y en los que se ensayan también los grupos motor 6 del avión, el avión 2 se hace rodar con sus trenes de aterrizaje 5 sobre diferentes carriles 7 a 10. A este respecto, los carriles 8 a 45 10 presentan irregularidades de suelo 11 a 13. También se tienen en cuenta diferentes irregularidades de suelo para las partes individuales del tren de aterrizaje 5 para evitar señales de fuerza de excitación correlacionadas durante el análisis con procedimiento de análisis modal de entrada-salida. Como entrada se usan las señales de sensores de carga en el tren de aterrizaje que miden, por ejemplo, deformaciones del tren de aterrizaje 5 y que se pueden transformar mediante cálculo en señales de fuerza equivalentes. En el caso de las irregularidades de suelo 11 se trata de una rugosidad estadística. La irregularidad de suelo 12 es una ondulación y la irregularidad de suelo 13 es un salto en altura. La marcha del tren de aterrizaje 5 sobre irregularidades de suelo 11 a 13 excita la estructura del avión 11 hasta dar vibraciones que se registran con los sensores de aceleración 3. En este caso se trata de una salida de la estructura del avión 1, que en el sentido de un análisis modal solo de salida suponiendo un espectro de fuerza de excitación de banda ancha que cubre lo suficientemente bien todos los modos naturales en el intervalo de 50 frecuencias que interesa, se puede usar como entrada para el análisis modal de la estructura del avión 1. Sin embargo, en los trenes de aterrizaje 5 pueden estar previstos también captadores de carga, que registran la excitación de la estructura del avión 1 mediante las irregularidades del suelo 11 a 13 en el sentido de una entrada en la estructura del avión 1. Los valores de medición de los captadores de aceleración 3 y posibles captadores de carga 55

5 en los trenes de aterrizaje se registran por un sistema de registro de datos y evaluación de datos 14 instalado en el avión 2 y se transmiten mediante telemetría a un sistema de evaluación de datos 14 asistido en tierra. En este lugar se realiza la evaluación de los datos en el sentido de un análisis modal experimental para la determinación de modos naturales 15 y otros datos modales de la estructura del avión 1. Como alternativa a esto es posible la instalación de un sistema de registro de datos y evaluación de datos en el avión 2, efectuándose entonces la evaluación de los datos de medición en el propio avión, por lo que se puede omitir el uso de una instalación de telemetría. De este modo se adapta un modelo de EF 4 de la estructura del avión 1, siempre que arroje todavía otros datos modales, hasta que represente la estructura del avión 1 con suficiente precisión. El modelo de EF 4 validado de este modo de la estructura del avión 1 puede usarse entonces en un análisis de estabilidad de flameo del avión 2 para comprobar su estabilidad a flameo en sus intervalos de funcionamiento previstos.

**Lista de referencias**

- 1 Estructura del avión
- 2 Avión
- 3 Sensor de aceleración
- 15 4 Modelo de EF con modo natural determinado numéricamente representado gráficamente
- 5 Tren de aterrizaje
- 6 Grupo motor
- 7 Carril
- 8 Carril
- 20 9 Carril
- 10 Carril
- 11 Irregularidad del suelo
- 12 Irregularidad del suelo
- 13 Irregularidad del suelo
- 25 14 Sistema de registro de datos y de evaluación de datos
- 15 Modo natural determinado experimentalmente representado gráficamente

**REIVINDICACIONES**

1. Procedimiento para la obtención de datos para la autorización de una aeronave, en el que
- se establece un modelo de elementos finitos (EF) de una estructura de avión de la aeronave,
  - se llevan a cabo ensayos de vibración para la validación del modelo de EF, en los que se excita la estructura del avión hasta dar vibraciones y se registran las vibraciones excitadas de la estructura del avión,
  - basándose en el modelo de EF validado se efectúa un análisis de estabilidad a flameo de la estructura del avión y
  - se llevan a cabo ensayos de rodadura para la cualificación de trenes de aterrizaje de la aeronave,
- 5
- caracterizado porque** al menos una parte de los ensayos de vibración para la validación de los modelos de EF se lleva a cabo en el marco de los ensayos de rodadura, excitándose la estructura del avión (1) mediante rodadura de los trenes de aterrizaje (5) sobre irregularidades del suelo (11-13) hasta dar vibraciones medibles y evaluables.
- 10
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** todos los ensayos de vibración para la validación del modelo de EF se llevan a cabo en el marco de los ensayos de rodadura.
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** en los ensayos de vibración se efectúa un análisis modal de entrada/salida mediante el uso de valores de carga y deformación del tren de aterrizaje, que se miden con sensores necesarios para los ensayos de rodadura.
- 15
4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** en los ensayos de vibración se efectúa un análisis modal solo de salida.
5. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** los trenes de aterrizaje para los ensayos de vibración se hacen rodar sobre carriles (8-10) con irregularidades definidas (11-13).
- 20
6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado porque** las vibraciones excitadas en los ensayos de vibración se registran al menos en parte con sensores de aceleración (3) en la estructura del avión (1), que se usan también en ensayos de vuelo posteriores.
7. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** las vibraciones excitadas en los ensayos de vibración se registran al menos en parte con sensores de aceleración (3) consultados teleméricamente en la estructura del avión (1).
- 25
8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado porque** las vibraciones excitadas en los ensayos de vibración se registran al menos en parte mediante procedimientos ópticos asistidos en el avión o asistidos en tierra.
- 30

