



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 342 901**

(51) Int. Cl.:
G05B 19/408 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Número de solicitud europea: **06806200 .9**

(96) Fecha de presentación : **12.10.2006**

(97) Número de publicación de la solicitud: **1946193**

(97) Fecha de publicación de la solicitud: **23.07.2008**

(54) Título: **Método para controlar los movimientos de un simulador de vuelo y simulador de vuelo que pone en práctica dicho método.**

(30) Prioridad: **12.10.2005 EP 05447231**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.07.2010

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.07.2010

(73) Titular/es: **Filip Vanbiervliet**
rue des Combattants, 101
1310 La Hulpe, BE

(72) Inventor/es: **Vanbiervliet, Filip**

(74) Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 342 901 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

Método para controlar los movimientos de un simulador de vuelo y simulador de vuelo que pone en práctica dicho método.

Campo técnico del invento

El presente invento se refiere a simuladores de vuelo y a métodos para controlar los simuladores de vuelo.

Antecedentes del invento

Los sistemas de movimiento de los simuladores de vuelo, o dicho brevemente los simuladores de vuelo, están provistos de sistemas de movimiento de 6 grados de libertad. Los simuladores de vuelo proporcionan indicación fiel del movimiento de las maniobras a través del filtrado de las aceleraciones angulares y de fuerzas específicas (lineales). Estas señales son importantes para la percepción del piloto, y por lo tanto el movimiento de los simuladores de vuelo deberá ser puesto de acuerdo con los movimientos de un avión real. Los algoritmos que se exponen en lo que sigue se han empleado en la técnica anterior para controlar los simuladores de vuelo.

Transformación del centroide (centro de gravedad geométrico)

Como la intención es la de simular el movimiento, tal como es percibido por el piloto, el simulador de vuelo está situado hipotéticamente en el avión, en correspondencia con el punto P de referencia del piloto (Fig. 4).

La lógica que se sigue (Fig. 8) se encuentra siempre en la bibliografía (véanse Russell V. Parrish, James E. Dieudonne y Dennis J. Martin Jr. "Software del movimiento para una base de movimiento sinérgica de seis grados de libertad" p.9. NASA TN D-7350 diciembre 1973/M. Baarsput, Delft University of Technology. "La generación de indicaciones de movimiento en un sistema de movimiento de seis grados de libertad" p.5, Report LR-248, junio 1977/G.A.J. van de Moesdijk, F.L. Van Biervliet, Delft University of Technology. "investigación para mejorar el software de movimiento del simulador de vuelo Fokker F-28", p.4, Report LR-358, septiembre 1982) y en aplicaciones prácticas.

Las fuerzas específicas se calculan en el avión en el lugar del centroide de la plataforma hipotética, de acuerdo con las fórmulas dadas en: O.H. Gerlach, Technische Hogeschool Delft, "Vliegeigenschappen 1" p. 227, Dictaat D 26, octubre-noviembre 1981/M. Baarsput, Delft University of Technology". "La generación de indicaciones de movimiento en un sistema de movimiento de seis grados de libertad" página 6, Report LR-248, junio 1977.

Por ejemplo, en la dirección y:

$$A_{y_{\text{centroid}}} = A_{y_{cg}} + (pq + \dot{r}) \cdot x_{c_{ac}} + (rq - \dot{p}) \cdot z_{c_{ac}}$$

siendo $A_{y_{\text{centroid}}}$ la componente y de la fuerza específica en el lugar hipotético del centroide del simulador con respecto al sistema de referencia del avión. $A_{y_{cg}}$ la componente y de la fuerza específica del centro de gravedad del avión, p la velocidad de alabeo, q la velocidad de cabeceo, r la velocidad de guiñada, $\dot{p}$ aceleración angular de alabeo, $\dot{r}$ la aceleración angular de guiñada, $x_{c_{ac}}$ la coordenada x del centroide en el sistema de referencia del avión y $z_{c_{ac}}$ la coordenada z del centroide en el sistema de referencia del avión. En la mayoría de los casos la $z_{c_{ac}}$ se desprecia.

El programa de movimiento hace uso de las tres componentes de la fuerza específica corregidas $A_{x_{\text{centroid}}}$, $A_{y_{\text{centroid}}}$, $A_{z_{\text{centroid}}}$ y las tres velocidades angulares (o aceleraciones) p, q, r, como entradas. Las 6 señales de salida del programa de movimiento mandan la posición del centroide (tres coordenadas) en la plataforma de movimiento, así como los 3 ángulos de Euler.

Simulación de la aceleración angular de alabeo (Fig. 9)

La velocidad de alabeo multiplicada por una ganancia de ajuste descendente K_d es filtrada a través de un filtro de paso alto de alabeo (de 1° o de 2° orden). El camino de coordinación hace uso de la inclinación lateral con objeto de mantener la "alineación de la gravedad". Con objeto de mantener la posición lateral dentro de los límites del simulador, se envía la posición lateral a través de un filtro-y de alabeo, en general de 2° orden. La salida del programa es el ángulo φ de alabeo del simulador y la posición y del centroide.

Estos filtros pueden ser de adaptación, lo que significa que K_d podría ser adaptada continuamente de acuerdo con un criterio de coste dado.

ES 2 342 901 T3

Simulación de la fuerza específica lateral (Fig. 10)

La fuerza específica lateral calculada en la posición hipotética del centroide se multiplica por una ganancia de ajuste descendente y se envía después a través de dos filtros diferentes: un filtro de posición de paso alto y un filtro angular de paso bajo. Estos filtros son en la mayoría de los casos de 2º orden y no son complementarios. Muy bien pueden ser de adaptación. De nuevo, la salida de los filtros es la “posición del centroide” y no la posición del piloto.

Los simuladores de vuelo de la técnica anterior, con al menos inclinación lateral y alabeo como un grado de libertad, se comportan invariablemente como sigue: considerando únicamente el viraje coordinado en vuelo por medio del mando de alerones, al principio de la maniobra, la percepción del piloto parece ser correcta. Se perciben la iniciación del alabeo así como la iniciación de la fuerza específica lateral. Pocos momentos después, sin embargo, se aprecia una fuerza lateral opuesta espuria. Se percibe como si el avión estuviese efectuando un resbalamiento lateral, lo que no es el caso.

También, durante las maniobras de rodaje en tierra, hay muy poca correlación entre la percepción del movimiento lateral y la información visual. Se tiene siempre la impresión de que se derrapa lateralmente en la pista.

Estos problemas se exponen con más detalle en lo que sigue.

Maniobra de alabeo

Consideremos una respuesta típica de movimiento del simulador de vuelo, en la Fig. 11, al paso de maniobra de mando de alerones de la Fig. 6.

Para los gráficos se usaron filtros de 2º orden, pues son los más frecuentemente usados. La única entrada a los filtros viene de la velocidad de alabeo. No hay entrada al filtro de fuerza específica lateral, ya que la posición-z del centroide (zc-ac) se desprecia en la mayoría de los casos.

La aceleración angular del alabeo (Fig. 11.4) muestra una inversión del signo que es inherente a la aceleración de alabeo filtrada por filtro de paso alto.

El tiempo de respuesta de la fuerza específica lateral en el punto P de referencia del piloto (Fig. 11.5) muestra las siguientes características:

1ª El valor del pico inicial es correcto. Esta aceleración es debida a $\Delta * \ddot{\phi}$. La transformación del centroide, como anteriormente se ha considerado, solamente tiene en cuenta la posición hipotética xc-ac del centroide con relación al centro de gravedad (c.g.) del avión. No se toma en consideración la coordenada vertical zc-ac del centroide ni la distancia Δ , la distancia vertical entre el punto P de referencia del piloto y el centroide c, es decir, el centro de gravedad geométrico de la plataforma del simulador. Puesto que el piloto está situado en el avión por encima del punto de aceleración de alabeo inicial y puesto que se acciona el simulador para alabeo alrededor de su centroide, las fuerzas específicas laterales iniciales son aproximadamente similares en el avión (a/c) y en el simulador (sim).

2ª Este pico inicial va seguido instantes después por una fuerza lateral espuria opuesta importante. Esta fuerza espuria es perjudicial para la fidelidad del movimiento del simulador de vuelo. Puede verse en la bibliografía como “apoyo desfasado del alumno sobre los pedales” etc. (J.B. Sinacori, Northrop Corporation, “A practical approach to motion simulation” (“una aproximación práctica a la simulación de movimiento”) página 13, AIAA comunicación 73-931, septiembre 1973/Susan A. Riedel y L.G.Hofmann, Systems Technology Inc., “Investigation of nonlinear motion simulator washout schemes” (“Investigación de esquemas de eliminación de movimientos no lineales del simulador”), página 524, página 530, Memorias de la 14ª Conferencia Anual sobre Control Manual, noviembre 1978/Susan A. Riedel y L.G. Hofmann, STI, “Validación de un simulador de vuelo con ingeniería tripulada” página 172, STI-TR-1110-1, AFFDL-TR-78-192-FT-1, Feb. 1979/David L. Quam, Universidad de Dayton, Ohio (EE.UU.), “Human pilot perception experiments” (“Experimentos de percepción de piloto humano”) página 263, Memorias de la 15ª Conferencia Anual sobre Control Manual, noviembre 1979/Irving L. Ashkenas, STI, “Collected flight and simulation comparisons and considerations” (“Consideraciones y comparaciones recogidas de comparaciones entre vuelo y simulación”) páginas 16-26, AGARD CP408 Flight Simulation, octubre 1985).

Este fenómeno se debe por entero a la presencia del filtro y de eliminación, como se ha ilustrado en la Fig. 9. Si no hubiese tal filtro, el movimiento de la plataforma permanecería perfectamente coordinado. Sin embargo, el simulador oscilaría. El filtro y de eliminación es necesario para “reclamar” el simulador, introduciendo por consiguiente “des” coordinación.

La única forma de suprimir este fenómeno en el esquema existente es reducir la ganancia Kd a valores muy bajos. No se vuelve a percibir ningún movimiento durante el movimiento, y sin embargo esto se considera menos malo que el movimiento espurio.

Maniobra de rodaje en tierra

Durante las maniobras de rodaje en tierra el avión simulado no alabea, por lo que solamente los filtros de la fuerza específica lateral desempeñan un papel principal.

Siempre se produce distorsión en el movimiento percibido: cuando se usa la dirección con el timón o la rueda de morro, se siente la respuesta inicial (del filtro y de paso alto). Cuando ésta desaparece, llega la aceleración lateral mantenida procedente del filtro φ de paso bajo. Esos dos movimientos no se mezclan entre sí perfectamente, ya que los filtros no son complementarios.

Sumario del invento

Un objeto del presente invento es proporcionar una buena indicación fiel del seguimiento del movimiento lateral en los simuladores de vuelo, así como simuladores de vuelo con tal buena indicación fiel del seguimiento del movimiento lateral y métodos para controlar tales simuladores de vuelo. Un objeto del presente invento es superar al menos algunas de las deficiencias antes mencionadas.

El anterior objeto se consigue por un método y un dispositivo de acuerdo con el presente invento.

En un primer aspecto, el presente invento proporciona métodos para controlar los movimientos de un simulador de vuelo, que dan por resultado una mejor percepción del movimiento por parte de un piloto que use el simulador de vuelo.

En una primera realización del primer aspecto, el presente invento proporciona un método para controlar los movimientos de un simulador de vuelo, que implican aceleraciones lineales y angulares percibidas por un piloto sentado en el asiento del piloto, con lo que las velocidades de alabeo y de guiñada, así como una fuerza específica en una dirección lateral, calculada de acuerdo con un modelo de un avión simulado en un punto fijo del avión simulado, se convierten mediante un programa de movimiento en una posición lateral y un ángulo de alabeo del simulador. En la primera realización, el método comprende calcular el ángulo de alabeo del simulador debido al ángulo de alabeo del avión simulado, mediante la corrección de un valor calculado originalmente del ángulo de alabeo con un factor de corrección proporcional a una fuerza específica lateral, inducida por un filtro de eliminación usado durante el cálculo de la alineación de la gravedad terrestre de la posición lateral del simulador.

El cálculo del ángulo de alabeo del simulador puede comprender usar una transformación matemática que implique la alimentación hacia delante de un ángulo de corrección en la función de transformación del ángulo de alabeo, de acuerdo con las fórmulas:

$$\varphi_{cor} = K_y \cdot \varphi_{hp} - \ddot{y}_{roll} / g$$

$$\varphi_{roll} = \varphi_{hp} - \varphi_{cor}$$

donde

φ_{hp} es igual al ángulo de alabeo del simulador filtrado en filtro de paso alto,

$\ddot{y}_{roll}$ es igual a la aceleración de la posición lateral del punto P de referencia del piloto,

g es la constante de gravedad terrestre, K_y es un factor de coordinación de ganancia lateral, y

φ_{roll} es igual al ángulo de alabeo del simulador, como resultado de la aceleración de alabeo del avión o de la velocidad de alabeo.

En dicha transformación matemática se puede introducir un factor de coordinación lateral K_y , de valor entre 0 y 1, que permita reducir el recorrido lateral a expensas de alguna fuerza específica lateral espuria aceptable, modulando para ello entre “coordinación nula” ($K_y = 0$) y “coordinación total” ($K_y = 1$). El ángulo de alabeo puede obtenerse mediante un filtro de paso alto de 3° o de 4° orden, que conduce a que sea $K_y = 1$, y la aceleración lateral puede ser en cada caso igual a ese ángulo de alabeo multiplicado por la aceleración terrestre.

La transformación matemática puede implicar un filtro de paso alto del ángulo de alabeo de 2º orden y un filtro de eliminación-y de 1º orden, de acuerdo con las fórmulas de la función de transferencia

$$\left[\frac{\varphi_{hp}}{p_{ltd}} \right] = \frac{p}{p^2 + 2\xi\omega_n p + \omega_n^2}$$

$$\left[\frac{\ddot{y}_{roll}/g}{\varphi_{hp}} \right] = K_y \cdot \frac{p}{p + \frac{1}{\tau}}$$

donde p_{ltd} es la velocidad de alabeo de entrada limitada a través de un factor K_d de ganancia de ajuste descendente, y opcionalmente una función de limitación de la velocidad de alabeo, de tal modo que para un paso en el mando de los alerones, el recorrido lateral del simulador es de un valor finito.

En un método de acuerdo con realizaciones del presente invento, la segunda componente de la fuerza específica en la dirección lateral puede obtenerse por medio de un primer juego de dos filtros complementarios para aceleración de alabeo y un segundo juego de dos filtros complementarios para aceleración de guiñada. De cada juego de filtros complementarios, uno es para mandar un desplazamiento lateral del simulador y el otro es para mandar un ángulo de alabeo del simulador. Los filtros complementarios pueden ser de acuerdo con las fórmulas de la función de transferencia

$$\left[\frac{y_{Ayp}}{p_{ltd}} \right] = -z_{pac} \cdot \frac{p + 2\xi\omega_n}{p^2 + 2\xi\omega_n p + \omega_n^2}$$

$$\left[\frac{\varphi_{Ayp}}{p_{ltd}} \right] = \frac{z_{pac}}{g} \cdot \frac{\omega_n^2 \cdot p}{p^2 + 2\xi\omega_n p + \omega_n^2}$$

y

$$\left[\frac{y_{Ayr}}{r_{ltd}} \right] = x_{pac} \cdot \frac{p + 2\xi\omega_n}{p^2 + 2\xi\omega_n p + \omega_n^2}$$

$$\left[\frac{\varphi_{Ayr}}{r_{ltd}} \right] = -\frac{x_{pac}}{g} \cdot \frac{\omega_n^2}{p^2 + 2\xi\omega_n p + \omega_n^2}$$

donde p_{ltd} y r_{ltd} son las velocidades de alabeo y de guiñada, respectivamente, limitadas a través de un factor de ganancia de ajuste descendente K_p y K_r respectivamente, y opcionalmente a través de una función de limitación de la velocidad.

En una segunda realización del primer aspecto, el presente invento proporciona un método para controlar los movimientos de un simulador de vuelo, que implican aceleraciones lineales y angulares percibidas por un piloto sentado en el asiento del piloto, con lo que las velocidades de alabeo y de guiñada, así como una fuerza específica en una dirección lateral calculada de acuerdo con un modelo de un avión simulado en un punto fijo del avión simulado, son convertidas por un programa de movimiento en una posición lateral y en un ángulo de alabeo del simulador. En la segunda realización, el método comprende

- descomponer la fuerza específica en la dirección lateral que actúa en el punto de referencia del piloto en el avión simulado en una primera componente y una segunda componente, la primera componente relativa a la fuerza específica en un punto fijo del avión simulado, y la segunda componente que tiene un primer término relacionado con las aceleraciones debidas a la guiñada y un segundo término relacionado con las aceleraciones angulares de alabeo, de acuerdo con la fórmula

$$A_{ypilot} = A_y + \dot{r} \cdot xp_{ac} - \dot{p} \cdot zp_{ac}$$

Siendo xp_{ac} la coordenada x del punto de referencia del piloto en un sistema de referencia que tiene su origen en el punto fijo del avión simulado, y siendo zp_{ac} la coordenada z del punto de referencia del piloto en dicho sistema de referencia, siendo $\dot{p}$ la aceleración angular de alabeo y siendo $\dot{r}$ la aceleración angular de guiñada.

- filtrar la primera componente A_y a través de dos filtros, un filtro de paso alto y un filtro de paso bajo,

- filtrar cada uno de los términos de la segunda componente mediante un juego de un primer y un segundo filtros complementarios en paralelo, siendo filtros complementarios aquéllos cuya suma de funciones de transferencia es uno, y

- usar la suma de la salida de filtro de paso alto y el primero de los filtros complementarios de cada juego para calcular la posición lateral deseada del simulador, y usar la suma de la salida del filtro de paso bajo y el segundo de los filtros complementarios de cada juego para calcular el ángulo de alabeo deseado del simulador.

En una tercera realización del primer aspecto, el presente invento proporciona un método para controlar los movimientos de un simulador de vuelo, que implican aceleraciones lineales y angulares percibidas por un piloto sentado en el asiento del piloto, con lo que la velocidad de alabeo y de guiñada, así como una fuerza específica en una dirección lateral, calculada de acuerdo con un modelo de avión simulado en un punto fijo del avión simulado, son convertidas por un programa de movimiento en una posición lateral y un ángulo de alabeo del simulador. En la tercera realización, el método comprende transformar la posición del punto de referencia del piloto en el simulador obtenido a través del programa de movimiento, ya sea por medio de un método según el estado del arte o ya sea por medio de cualquiera de los métodos del primer o del segundo aspectos, o bien por medio de una combinación de los mismos, en la posición del centroide del simulador. Esto puede hacerse mediante una transformación de coordinación que tenga en cuenta los tres ángulos de Euler de los ángulos de guiñada (Ψ), de cabeceo (θ) y de alabeo (φ).

El método de la tercera realización puede comprender además transformar la fuerza específica, calculada de acuerdo con un modelo de un avión simulado en el punto fijo de dicho avión, en una fuerza específica que actúe en un punto de referencia del piloto y dar después esa fuerza específica transformada como entrada al programa de movimiento y convertir la salida del programa de movimiento mediante una transformación de la situación del punto de referencia del piloto en la posición del centroide del simulador en señales para mandar la posición del centroide del simulador. La primera transformación puede ser efectuada por medio de transformaciones matemáticas que convierten formas específicas del punto fijo del avión en el punto P de referencia del piloto, de acuerdo con:

$$A_{ypilot} = A_{x_{cg}} - (q^2 + r^2) \cdot xp_{ac} + (pr + \dot{q}) \cdot zp_{ac}$$

$$A_{ypilot} = A_{y_{cg}} + (pq + \dot{r}) \cdot xp_{ac} + (qr - \dot{p}) \cdot zp_{ac}$$

$$A_{zpilot} = A_{z_{cg}} + (pr - \dot{q}) \cdot xp_{ac} - (p^2 + q^2) \cdot zp_{ac}$$

Las señales de movimiento para mandar la posición del centroide de la plataforma del simulador pueden obtenerse a partir de la salida de movimiento del punto P de referencia del piloto, de acuerdo con las fórmulas

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_c = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_p - A \cdot \begin{bmatrix} x_{P_c} \\ 0 \\ z_{P_c} \end{bmatrix}$$

siendo

$$A = \begin{bmatrix} \cos \vartheta \cos \Psi & \sin \varphi \sin \vartheta \cos \Psi & \cos \varphi \sin \vartheta \cos \Psi \\ & -\cos \varphi \sin \Psi & +\sin \varphi \sin \Psi \\ \cos \theta \sin \Psi & \sin \varphi \sin \theta \sin \Psi & \cos \varphi \sin \theta \sin \varphi \\ & +\cos \varphi \cos \Psi & -\sin \varphi \cos \Psi \\ -\sin \theta & \sin \varphi \cos \theta & \cos \varphi \cos \theta \end{bmatrix}$$

La siguiente ecuación simplificada puede sustituir a la componente-y del centroide, y_c

$$y_c = y_p - \Delta \varphi$$

siendo Δ la distancia vertical entre el punto de referencia del piloto y el centroide del simulador y siendo φ el ángulo de alabeo.

Las realizaciones primera, segunda y tercera del primer aspecto, y sus características dependientes, pueden ser realizaciones separadas, o bien pueden estar combinadas entre sí.

En realizaciones del presente invento, el punto fijo del avión simulado puede ser el centro de gravedad de dicho avión simulado. Son puntos útiles alternativos para el punto fijo otros puntos fijos en el avión, en las proximidades del centro de gravedad.

En un segundo aspecto, el presente invento proporciona un producto de programa de ordenador para ejecutar cualquiera de los métodos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores cuando se ejecutan en un dispositivo de cálculo asociado con un simulador de vuelo que simule un avión. El producto de programa de ordenador proporciona la funcionalidad de cualquiera de los anteriores métodos de acuerdo con el presente invento cuando se ejecuta en un dispositivo de cálculo asociado con un simulador de vuelo. El programa de ordenador puede ser parte de un producto de software de ordenador (es decir, un medio portador) que incluya uno o más segmentos de código que hagan que un procesador, tal como una cpu del sistema de procesado, lleve a cabo los pasos del método. El programa discurre bajo un sistema operativo, y puede incluir una interfaz con el usuario que haga posible que un usuario interactúe con el programa. El programa del simulador de vuelo opera sobre datos de entrada, por ejemplo, un esquema de vuelo predeterminado y genera datos de control para controlar los movimientos de una plataforma de un simulador de vuelo.

En un tercer aspecto, el presente invento proporciona un medio de soporte o dispositivo de almacenamiento de datos legibles a máquina, que almacena el producto de programa de ordenador del presente invento en una forma legible por una máquina y que ejecuta uno al menos de los métodos de este invento, cuando es ejecutado en un dispositivo de cálculo. Actualmente, tal software se ofrece frecuentemente en la red Internet o en una intranet de una compañía para su descarga y, por consiguiente, el presente invento incluye transmitir el producto de ordenador a imprimir de acuerdo con el presente invento sobre una red local o de área amplia. El dispositivo de cálculo puede incluir uno de entre un microprocesador y un FPGA.

Los términos “medio portador” y “medio legible por ordenador”, tal como aquí se usan, se refieren a cualquier medio que participe en proporcionar instrucciones a un procesador para su ejecución. Tal medio puede adoptar muchas formas, incluyendo, aunque sin quedar limitados a ellas, la de medios no volátiles, medios volátiles, y medios de transmisión. Como medios no volátiles se incluyen, por ejemplo, los discos ópticos o magnéticos, tales como un dispositivo de almacenamiento que sea parte de un almacenamiento en masa. Los medios volátiles incluyen memorias dinámicas tales como la RAM. Los medios de transmisión incluyen cables coaxiales, cable de cobre y fibras ópticas, incluyendo los cables que comprende un bus dentro de un ordenador. Los medios de transmisión pueden también adoptar la forma de ondas acústicas o de luz, tales como las generadas durante las comunicaciones de datos por ondas de radio y por infrarrojos.

Como formas comunes de medios legibles por ordenador se incluyen, por ejemplo, disquetes, discos flexibles, discos duros, cinta magnética, o cualquier otro medio magnético, un CD-ROM, cualquier otro medio óptico, tarjetas perforadas, cintas de papel, cualquier otro medio físico con dibujos de agujeros, una RAM, una PROM, una EPROM, una FLASH-EPROM, cualquier otro chip o cartucho de memoria, una onda portadora como se describe aquí en lo que sigue, o cualquier otro medio que pueda leer un ordenador.

Pueden estar implicados medios legibles por ordenador de varias formas en la puesta en práctica de una o más secuencias de una o más instrucciones a un procesador, para su ejecución. Por ejemplo, las instrucciones pueden ir contenidas inicialmente en un disco magnético de un ordenador a distancia. El ordenador a distancia puede cargar las instrucciones en su memoria dinámica y enviar las instrucciones por una línea telefónica usando un modem. Un modem local para el sistema de ordenador para controlar la plataforma del simulador, puede recibir los datos por la línea telefónica y usar un transmisor de infrarrojos para convertir los datos en una señal de infrarrojos. Un detector de infrarrojos acoplado a un bus puede recibir los datos llevados por la señal de infrarrojos y situar los datos en el bus. El bus lleva los datos a la memoria principal, de la cual un procesador recupera y ejecuta las instrucciones. Las instrucciones recibidas por la memoria principal pueden ser almacenadas opcionalmente en un dispositivo de almacenamiento, ya sea antes o ya sea después de la ejecución por un procesador. Las instrucciones pueden ser también transmitidas por medio de una onda portadora en una red, tal como una LAN, una WAN o por Internet. Los medios de transmisión pueden adoptar la forma de ondas acústicas o luminosas, tales como las generadas durante las comunicaciones por ondas de radio y de datos de infrarrojos. Los medios de transmisión incluyen cables coaxiales, cables de cobre y fibras ópticas, incluyendo los cables que forman un bus dentro de un ordenador.

En todavía otro aspecto, el presente invento proporciona un controlador para controlar los movimientos de un simulador de vuelo, que implican aceleraciones lineales y angulares percibidas por un piloto sentado en el asiento del piloto, de modo que la velocidad de alabeo y la velocidad de guiñada, así como una fuerza específica en una dirección lateral, calculada de acuerdo con un modelo de un avión simulado en un punto fijo del avión simulado, son convertidas por un programa de movimiento en una posición lateral y un ángulo de alabeo del simulador, en que el controlador comprende cualquiera de:

una primera calculadora adaptada para calcular el ángulo de alabeo del simulador debido al ángulo de alabeo del avión simulado, mediante la corrección de un valor calculado originalmente del ángulo de alabeo por un factor de corrección proporcional a una fuerza específica lateral inducida por un filtro de eliminación usado durante el cálculo de la alineación de la gravedad terrestre de la posición lateral del simulador;

y/o

- una segunda calculadora adaptada para descomponer la fuerza específica en la dirección lateral que actúa en el punto de referencia del piloto en el avión simulado en una primera componente y una segunda componente, relacionada la primera componente con la fuerza específica en un punto fijo del avión simulado y teniendo la segunda componente un primer término relacionado con las aceleraciones debidas a la guiñada y un segundo término relacionado con las aceleraciones angulares de alabeo, de acuerdo con la fórmula

$$A_{ypiloto} = A_y + \dot{r}.xp_{ac} - \dot{p}.zp_{ac}$$

siendo xp_{ac} la coordenada x del punto de referencia del piloto en un sistema de referencia que tiene su origen en el punto fijo del avión simulado, y siendo zp_{ac} la coordenada z del punto de referencia del piloto en dicho sistema de referencia, siendo $\dot{p}$ la aceleración angular de alabeo y siendo $\dot{r}$ la aceleración angular de guiñada, -un filtro de paso alto y un filtro de paso bajo para filtrar el primer componente A_y ,

- dos juegos de un primer y un segundo filtros complementarios, siendo filtros complementarios aquellos filtros cuya suma de funciones de transferencia es uno, para filtrar cada uno de los términos de la segunda componente en paralelo,

- un combinador para combinar la salida del filtro de paso alto y las salidas del primero de los filtros complementarios de cada juego para calcular la posición lateral deseada del simulador, y un combinador para combinar la salida

del filtro de paso bajo y las salidas de los segundos filtros complementarios de cada conjunto para calcular el ángulo de alabeo deseado del simulador.

y/o

un transformador para transformar la posición del punto de referencia del piloto en el simulador obtenido a través del programa de movimiento, ya sea por medio de un método según el estado del arte o ya sea por medio de cualquiera de los métodos del primer o del segundo aspectos, o bien por medio de una combinación de los mismos, en la posición del centroide del simulador.

En todavía otro aspecto, el presente invento proporciona un simulador de vuelo adaptado para realizar movimientos controlados, que implican aceleraciones lineales y angulares percibidas por un piloto sentado en el asiento del piloto,

con lo que la velocidad de alabeo y la velocidad de guiñada, así como una fuerza específica en una dirección lateral, calculada de acuerdo con un modelo de un avión simulado en un punto fijo del avión simulado, son convertidas por un programa de movimiento en una posición lateral y en un ángulo de alabeo del simulador,

en que el simulador de vuelo comprende cualquiera de:

una primera calculadora adaptada para calcular el ángulo de alabeo del simulador debido al ángulo de alabeo del avión simulado, corrigiendo para ello un valor calculado originalmente del ángulo de alabeo por un factor de corrección proporcional a una fuerza específica lateral inducida por un filtro de eliminación usado durante el cálculo de alineación de la gravedad terrestre de la posición lateral del simulador,

y/o

- una segunda calculadora adaptada para descomponer la fuerza específica en la dirección lateral, que actúa en el punto de referencia del piloto en el avión simulado, en una primera componente y una segunda componente, la primera componente relativa a la fuerza específica en un punto fijo del avión simulado y la segunda componente que tiene un primer término relacionado con las aceleraciones debidas a la guiñada y un segundo término relacionado con las aceleraciones angulares de alabeo, de acuerdo con la fórmula

$$A_{ypiloto} = A_y + \dot{\Gamma} \cdot xp_{ac} - \dot{p} \cdot zp_{ac}$$

siendo xp_{ac} la coordenada x del punto de referencia del piloto en un sistema de referencia que tiene el origen en el punto fijo del avión simulado, y siendo zp_{ac} la coordenada z del punto de referencia del piloto en dicho sistema de referencia, siendo $\dot{p}$ la aceleración angular de alabeo y siendo $\dot{\Gamma}$ la aceleración angular de guiñada,

- un filtro de paso alto y un filtro de paso bajo para filtrar la primera componente A_y ,

- dos juegos de un primer y un segundo filtros complementarios, siendo filtros complementarios aquellos filtros cuya suma de funciones de transferencia es uno, para filtrar cada uno de los términos de la segunda componente en paralelo,

- un combinador para combinar la salida del filtro de paso alto y las salidas del primero de los filtros complementarios de cada juego para calcular la posición lateral deseada del simulador, y un combinador para combinar la salida del filtro de paso bajo y las salidas del segundo de los filtros complementarios de cada juego para calcular el ángulo de alabeo deseado del simulador,

y/o

un transformador para transformar la posición del punto de referencia del piloto en el simulador obtenido a través del programa de movimiento, ya sea por medio de un método según el estado del arte o ya sea por medio de cualquiera de los métodos del primer o del segundo aspectos, o bien por medio de una combinación de los mismos, en la posición del centroide del simulador.

Los aspectos particulares y preferidos del invento se exponen en las reivindicaciones independientes y dependientes que se acompañan. Las características de las reivindicaciones dependientes pueden ser combinadas con las características de las reivindicaciones independientes y con características de otras reivindicaciones dependientes, según sea lo apropiado, y no únicamente como se expone explícitamente en las reivindicaciones.

Se cree que los presentes conceptos representan mejoras sustanciales nuevas y noveles, incluyendo desviaciones con respecto a las prácticas anteriores, lo que da por resultado una más fiel indicación del movimiento durante las maniobras laterales en tierra y en el aire.

Los principios del presente invento permiten el diseño de simuladores de vuelo mejorados y de métodos para controlar los simuladores de vuelo.

Las anteriores y otras características, propiedades y ventajas del presente invento se pondrán de manifiesto en la descripción detallada que sigue, considerada conjuntamente con los dibujos que se acompañan, los cuales ilustran, a modo de ejemplos, los principios del invento. Esta descripción se hace únicamente para que sirva de ejemplo, sin limitar el alcance del invento. Las figuras de referencia que se citan en lo que sigue se refieren a los dibujos que se acompañan.

Breve descripción de los dibujos

Fig. 1: sistema de referencia del avión

Fig. 2: plataforma fija del sistema de referencia del simulador

- 1: centroide del simulador
- 2: plataforma de movimiento superior
- 3: plataforma de movimiento inferior

Fig. 3: sistema de referencia de la plataforma en movimiento

- 1: posición inicial del centroide
- 2: movimiento del centroide
- 3: plataforma de movimiento superior en reposo
- 4: plataforma de movimiento superior, en movimiento
- 5: plataforma de movimiento inferior

Fig. 4: punto de referencia del piloto-centroide de las plataformas-centro de gravedad (c.g.) del avión

- 1: avión
- 2: simulador de posición hipotética
- P: punto de referencia del piloto
- c: centroide
- c.g. centro de gravedad

coordenadas del punto de referencia del piloto con respecto al c.g del avión:

$$\begin{bmatrix} xp_{ac} \\ 0 \\ zp_{ac} \end{bmatrix}$$

coordenadas del punto de referencia del piloto con respecto al centroide c:

$$\begin{bmatrix} xp_c \\ 0 \\ zp_c \end{bmatrix}$$

coordenadas del centroide con respecto al c.g. del avión:

$$\begin{bmatrix} x_{C_{ac}} \\ 0 \\ z_{C_{ac}} \end{bmatrix}$$

Fig. 5: fuerza específica en la dirección y en un punto P de una plataforma en movimiento

1: plataforma en movimiento

Fig. 6: historia en el tiempo del avión para un paso de alerones

6.1: entrada de alerones (°)

6.2: velocidad de de alabeo (°/s)

6.3: aceleración del alabeo (°/s²)

Fig. 7: eje de alabeo instantáneo debido a la entrada de alerones

1: avión

2: eje de alabeo instantáneo

Fig. 8: organigrama de transformaciones “clásicas”

Fig. 9: filtros clásicos, canal de alabeo

Fig. 10: filtros clásicos, canal de fuerzas específicas laterales

Fig. 11: historias en el tiempo de filtros clásicos del simulador de vuelo

11.1: posición lateral del centroide (m)

11.2: aceleración lateral del centroide (m/s²)

11.3: ángulo de alabeo (°)

11.4: aceleración de alabeo (°/s²)

11.5: fuerza específica Ay-p (m/s²)

Fig. 12: organigrama de transformaciones “corregidas” de acuerdo con una realización del presente invento

Fig. 13: canal de alabeo con introducción de la φ -cor de acuerdo con una realización del presente invento

Fig. 14: canal de fuerzas específicas laterales con descomposición de Ay y filtros complementarios de acuerdo con una realización del presente invento

1: filtros complementarios, Ay-piloto debida a la aceleración de alabeo

2: filtros complementarios, Ay-piloto debida a la aceleración de guiñada

Fig. 15: historias en el tiempo del simulador de vuelo usando “alimentación hacia delante de φ -cor” de acuerdo con una realización del presente invento

- 15.1: punto P de posición interna (m)
- 15.2: punto P de aceleración lateral (m/s^2)
- 15.3: ángulo de alabeo ($^\circ$)
- 15.4: aceleración de alabeo ($^\circ/s^2$)
- 15.5: fuerza específica Ay-p (m/s^2)

Fig. 16: historias completas en el tiempo del simulador de vuelo, nuevo concepto, $K_y=1$, de acuerdo con una realización del presente invento

- 16.1: punto P de posición lateral (m)
- 16.2: punto P de aceleración lateral (M/s^2)
- 16.3: ángulo de alabeo ($^\circ$)
- 16.4: aceleración de alabeo ($^\circ/s^2$)
- 16.5: fuerza específica Ay-p (m/s^2)

Fig. 17: historias completas en el tiempo del simulador de vuelo, nuevo concepto, $K_y=0,8$, de acuerdo con una realización del presente invento

- 17.1: punto P de posición lateral (m)
- 17.2: punto P de aceleración lateral (m/s^2)
- 17.3: ángulo de alabeo ($^\circ$)
- 17.4: aceleración de alabeo ($^\circ/s^2$)
- 17.5: fuerza específica Ay-P (m/s^2)

Fig. 18 ejemplos de función de limitación de la velocidad de alabeo de acuerdo con una realización del presente invento

Fig. 19: ilustración de un sistema de ordenador para uso con el presente invento

Fig. 20: ilustración de un simulador de vuelo.

Descripción de realizaciones ilustrativas

Se describirá el presente invento con respecto a realizaciones particulares y con referencia a ciertos dibujos, pero el invento no queda limitado a ellas, sino solamente por las reivindicaciones. Los dibujos que se describen son únicamente esquemáticos y no son limitadores. En los dibujos, el tamaño de alguno de los elementos puede haberse exagerado y no haberse dibujado a escala, con fines ilustrativos. Las dimensiones y las dimensiones relativas no se corresponden con las reducciones reales para la puesta en práctica del invento.

Además, los términos primero, segundo, tercero y similares en la descripción y en las reivindicaciones, se usan para diferenciar entre elementos similares y no necesariamente para describir un orden secuencial o cronológico. Ha de quedar entendido que los términos así usados son intercambiables en las circunstancias apropiadas y que las realizaciones del invento que aquí se describe son susceptibles de operar con otras secuencias distintas a las aquí descritas o ilustradas.

Debe tenerse presente que el término “que comprende” usado en las reivindicaciones, no deberá ser interpretado como limitado a los medios que se describen a continuación; el mismo no excluye otros elementos o pasos. Debe ser por lo tanto interpretado en el sentido de que especifica la presencia de las características, números enteros, pasos o componentes, que se especifican como referencias, pero no excluye la presencia o la adición de una o más de otras características, números enteros, pasos o componentes, o grupos de los mismos. Por consiguiente, el alcance de la expresión “un dispositivo que comprende medios A y B”, no deberá quedar limitada a los dispositivos consistentes únicamente en los componentes A y B. Significa que con respecto al presente invento, los únicos componentes relevantes del dispositivo son A y B.

Definiciones y anotaciones

Los términos que siguen se incluyen exclusivamente como ayuda para comprender el invento. Estas definiciones no deberán ser entendidas como que tienen un alcance menor que el que entienda que tienen una persona que posea los conocimientos corrientes de la técnica.

a/c	avión
A	matriz de cosenos de dirección
Ax:	componente x de la fuerza específica
Ay:	componente y de la fuerza específica
Az:	componente z de la fuerza específica
Ay-centroid	Ay en la posición hipotética del centroide con respecto al sistema de referencia del a/c
Ay-cg	Ay en el c.g. del a/c
Ay-pilot	Ay del piloto con respecto al sistema de referencia del a/c
Ay-p	Ay en el punto P de referencia del piloto en el simulador
c	centroide, centro geométrico de gravedad de la plataforma en movimiento
c.g.	centro de gravedad
d	distancia entre P y el eje de aceleración angular del alabeo
g	gravedad terrestre, 9,81 m/seg ²
k	ganancia
Kd	ajuste descendente de la ganancia del canal de alabeo
Kp	ajuste descendente de la ganancia del canal Ay, entrada de alabeo
Kr	ajuste descendente de la ganancia del canal Ay, entrada de guiñada
Khp	ajuste descendente de la ganancia del filtro y de paso alto clásico
Klp	ajuste descendente de la ganancia del filtro φ de paso bajo clásico
Ky	coordinación lateral de la ganancia
p	velocidad de alabeo
P	operador de Laplace (significa d/dt); punto de referencia del piloto
p-lim	límite de la velocidad de alabeo
p-ltd	velocidad de alabeo limitada
q	velocidad de cabeceo
r	velocidad de guiñada
r-lim	límite de la velocidad de guiñada

ES 2 342 901 T3

	r-ltd	velocidad de guiñada limitada
	xc-ac	coordenada x del centroide en el sistema de referencia del a/c
5	zc-ac	coordenada z del centroide en el sistema de referencia del a/c
	xp-ac	coordenada x de P en el sistema de referencia del a/c
	zp-ac	coordenada z de P en el sistema de referencia del a/c
10	xp-c	coordenada x de P en el sistema de plataforma en movimiento
	zp-c	coordenada z de P en el sistema de plataforma en movimiento
	y	coordenada y
15	y-c	coordenada y del centroide en el sistema de referencia de plataforma fija
	y-p	coordenada y del punto P de referencia del piloto en el sistema de referencia de plataforma fija
20	δ	deflexión (en grados) de la rueda de control de alerones
	ψ	ángulo de guiñada
	ow	actitud de cabeceo
25	φ	ángulo de alabeo
	φ -hp	filtro de paso alto del ángulo de alabeo
30	φ -cor	nuevo concepto de corrección del ángulo de alabeo
	Δ	distancia vertical entre el punto P de referencia del piloto y el control c de la plataforma
	τ	constante de tiempo (segundos)
35	ω	frecuencia circular (radianes/segundo)
	ξ	relación de amortiguación
	c_n	coeficiente del momento de guiñada
40	c_i	coeficiente del momento de alabeo

$$c_{n\delta} = \frac{\partial c_n}{\partial \delta}$$

$$c_{i\delta} = \frac{\partial c_i}{\partial \delta}$$

α d/dt(a)= primera derivada del parámetro (α) con respecto al tiempo

$\ddot{\alpha}$ d²/dt²(α)= segunda derivada del parámetro (α) con respecto al tiempo.

Sistemas de referencia

Todos los sistemas de referencia lo son hacia la derecha, la x apuntando hacia delante, la y a la derecha y la z hacia abajo.

En la Fig. 1a se ha ilustrado un sistema de referencia del avión que tiene su origen en un punto fijo, por ejemplo, en el centro de gravedad. En la Fig. 2a se ha ilustrado un sistema de referencia de plataforma fija que tiene su origen en una posición inicial del centroide. En la Fig. 3 se ha ilustrado un sistema de referencia de plataforma en movimiento que tiene su origen en el centroide.

Punto P de referencia del piloto (Fig. 4)

Es el punto en donde se supone que tiene lugar la percepción del movimiento. El movimiento se percibe a través de los canales semicirculares del oído interno. Sin embargo, hay también una percepción táctil del movimiento (denominada también “de sentir el culo”). Por lo tanto, se supone que el punto P está situado entre los dos pilotos a mitad de altura entre su cabeza y el cojín de su asiento. En un simulador de vuelo típico, la distancia Δ entre el punto P de referencia del piloto y el centroide c del simulador es de 1,00 a 1,75 m.

Fuerza específica (m/s^2)

La fuerza específica en una dirección dada es igual a la aceleración lineal que sería medida por un acelerómetro lineal en esa dirección. Es igual a la diferencia vectorial entre la aceleración cinemática y la aceleración debida a la gravedad. La fuerza específica en un punto dado P (A_{y-p}) en una plataforma en movimiento se compone de 3 componentes: aceleración del centroide ($\ddot{y}-c$), aceleración debida a la aceleración angular y componente de la gravedad:

$$A_{y-p} = \ddot{y}-c + \Delta \cdot \ddot{\phi} - g \cdot \varphi$$

Modelo de avión en vuelo

Se usa una aproximación de primer orden de acuerdo con H. Wittenberg, Technische Hogeschool Delft, “Elementaire beschouwing over de samenhang tussen besturing, stabiliteit en demping bij vliegtuigen”, Memorandum M-319 octubre 1979, páginas 5-7) con la siguiente función de transferencia:

$$\left[\frac{p}{s} \right] = \frac{k}{p + \frac{1}{T_{ac}}}$$

Esta es una buena aproximación para la simulación de virajes coordinados (sin fuerza-y específica en el c.g. del avión).

En la Fig. 6 se ha representado la respuesta del avión para un paso de alerones para un avión B737-300 en configuración de aproximación, $T_{ac} = 0,67$ segundos.

Es de hacer notar que todas las historias de tiempo se calcularon para un período de 10 segundos.

La velocidad de alabeo (Fig. 6.2) se aproxima asintóticamente a su valor final, mientras que la aceleración de alabeo (Fig. 6.3) presenta un valor de pico inicial que se va amortiguando hasta cero.

Es de hacer notar que la fuerza específica lateral en el punto P de referencia del piloto presenta exactamente las mismas características que la aceleración de la Fig. 6.3: si x_{p-ac} y z_{p-ac} son las coordenadas del punto P (Fig. 4) en el sistema de referencia del a/c, puede entonces verse, de acuerdo con O.H. Gerlach, Technische Hogeschool Delft, “Vileigenschappen 1”, Dictaat D 26, octubre-noviembre 1981, página 227, que

$$A_{y \text{ pilot}} = A_{y_{cg}} + (p q + \dot{r}) \cdot x_{p-ac} + (r q - \dot{p}) \cdot z_{p-ac}$$

Para velocidades angulares pequeñas:

$$A_{y \text{ pilot}} = A_{y_{cg}} + \dot{r} \cdot x_{p-ac} - \dot{p} \cdot z_{p-ac}$$

La fuerza específica lateral como resultado de la aceleración angular de alabeo es:

$$A_{y\text{ pilot}} = -z_{pac} \cdot \dot{p}$$

Es de hacer notar que si suponemos que los alerones no solamente inducen alabeo sino también momento de guiñada, entonces es $\dot{\Gamma} \neq 0$. En ese caso, la distancia de brazo de palanca d , para el cálculo de la fuerza específica lateral debida a la aceleración angular, puede estimarse como sigue (Fig. 7):

$$d \cong -z_{pac} + \frac{c_{ns}}{c_{qs}} \cdot x_{pac}$$

Si $c_{n\delta}$ y $c_{i\delta}$ son conocidos: (por ejemplo, como función del ángulo de ataque) entonces se puede usar este valor en vez de z_{pac} .

A continuación se describirá el invento mediante una descripción detallada de varias realizaciones del mismo. Está claro que pueden configurarse otras realizaciones del invento, de acuerdo con los conocimientos de las personas expertas en la técnica, sin desviarse del verdadero espíritu ni de las enseñanzas técnicas del invento, quedando limitado el invento únicamente por los términos de las reivindicaciones que se acompañan.

La plataforma del simulador puede ser del bien conocido diseño convencional. En la Fig. 20 se ha ilustrado una realización de tal plataforma del simulador. El presente invento es también aplicable a cualquier diseño con al menos los dos siguientes grados de libertad: desplazamiento lateral (derrape) y ángulo de alabeo. Solamente se adapta su control de acuerdo con las realizaciones del presente invento.

El nuevo concepto de movimiento de acuerdo con las realizaciones del presente invento está basado en cualquiera de tres alteraciones fundamentales, o de una combinación de las mismas:

1ª/ Fig. 12: transformaciones de corrección del centroide

2ª/ Fig. 13: introducción de φ -cor en el canal de alabeo.

3ª/ Fig. 14: descomposición de A_y y adición de filtros complementarios.

Corrección de transformaciones del centroide, Fig. 12

La transformación del centroide anteriormente considerada (en "Antecedentes del Invento") contiene un error importante. Puesto que los movimientos de la plataforma son movimientos filtrados del centroide c , y dado que el punto P de referencia del piloto no está situado en el centroide c , se crean aceleraciones espurias en el punto P de referencia del piloto, a través de la combinación de aceleraciones angulares de la plataforma y la distancia en la dirección x y la dirección z entre el centroide c y el punto P de referencia del piloto.

Por lo tanto, de acuerdo con una realización del presente invento, las transformaciones mejoradas son como sigue:

1ª/ No deberán calcularse las fuerzas específicas en el a/c en el lugar c hipotético del centroide (como en la Fig. 8), sino más bien en el punto P de referencia del piloto (Fig. 12):

$$A_{x\text{ pilot}} = A_{x_{cg}} - (q^2 + r^2) \cdot x_{pac} + (pr + \dot{q}) \cdot z_{pac}$$

$$A_{y\text{ pilot}} = A_{y_{cg}} + (pq + \dot{r}) \cdot x_{pac} + (qr - \dot{p}) \cdot z_{pac}$$

$$A_{z\text{ pilot}} = A_{z_{cg}} + (pr - \dot{q}) \cdot x_{pac} - (p^2 + q^2) \cdot z_{pac}$$

ES 2 342 901 T3

2ª/ Estas señales han de ser usadas juntamente con las velocidades angulares como entradas para el programa de movimiento del simulador.

3ª/ Las tres señales de salida de posición del programa de movimiento $\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$ han de considerarse como la posición

mandada del punto P de referencia del piloto. Deberán ser transformadas hacia posiciones mandadas del centroide como sigue:

Supongamos que las coordenadas del punto P de referencia del piloto con respecto al sistema de referencia de la plataforma en movimiento sean:

$$\begin{bmatrix} x_{P_c} \\ 0 \\ z_{P_c} \end{bmatrix}$$

Se cumple la siguiente relación entre las coordenadas de P y c en el sistema de referencia de plataforma fija, de acuerdo con Filip Van Biervliet, Technische Hogeschool Delft, "Ontwerp en evaluatie van stuurcommandosysteem-regelwetten met de quickened display methode", bijlage 2 Ingenieursverslag, maart 1982:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_P = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_c + A \cdot \begin{bmatrix} x_{P_c} \\ 0 \\ z_{P_c} \end{bmatrix}$$

Siendo A = matriz de cosenos de dirección

$$A = \begin{bmatrix} \cos \vartheta \cos \Psi & \sin \varphi \sin \vartheta \cos \Psi & \cos \varphi \sin \vartheta \cos \Psi \\ & -\cos \varphi \sin \Psi & +\sin \varphi \sin \Psi \\ \cos \theta \sin \Psi & \sin \varphi \sin \theta \sin \Psi & \cos \varphi \sin \theta \sin \varphi \\ & +\cos \varphi \cos \Psi & -\sin \varphi \cos \Psi \\ -\sin \theta & \sin \varphi \cos \theta & \cos \varphi \cos \theta \end{bmatrix}$$

Como resultado:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_c = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_P - A \cdot \begin{bmatrix} x_{P_c} \\ 0 \\ z_{P_c} \end{bmatrix}$$

En la dirección y:

$$y_c = y_p - \cos\theta \sin\Psi \cdot x \cdot p_c - (\cos\varphi \sin\theta \cos\Psi - \sin\varphi \cos\Psi) \cdot z \cdot p_c$$

Teniendo solamente en cuenta la influencia de $z \cdot p_c$, y suponiendo pequeños valores de Ψ , θ y φ :

$$y_c \approx y_p + z \cdot p_c \cdot \varphi$$

$$y_c = y_p - \Delta \cdot \varphi$$

Introducción de φ -cor en el canal de alabeo, Fig. 13

Consideremos la Fig. 13 en comparación con la Fig. 9. Esta disposición de filtros se ha diseñado para simular las aceleraciones angulares de alabeo con fuerzas específicas laterales reducidas o no espurias, de acuerdo con una realización del presente invento.

Lo que es una innovación en cuanto a este esquema, es la alimentación hacia delante de una corrección del ángulo de alabeo φ -cor al canal de alabeo. La corrección del ángulo de alabeo φ -cor es proporcional a la fuerza específica lateral espuria inducida por el filtro de eliminación de y. Es una señal de baja frecuencia. Desde un punto de vista físico, significa que la plataforma está siendo inclinada hacia atrás proporcionalmente a la deceleración lineal. (Se parece mucho al modo en que un camarero ha de inclinar hacia atrás la bandeja en la que sirve con objeto de no perder sus bebidas cuando se ve obligado a pararse bruscamente).

El factor de coordinación lateral K_y (entre 0 y 1) se entiende que es para reducir la desviación lateral del simulador.

Se deduce del esquema

$$\begin{aligned} A_y &= \ddot{y}_{roll} - g \cdot \varphi_{roll} \\ &= \ddot{y}_{roll} - g \cdot (\varphi_{hp} - \varphi_{cor}) \\ &= \ddot{y}_{roll} - g \cdot \left(\varphi_{hp} + \frac{1}{g} \cdot \ddot{y}_{roll} - K_y \cdot \varphi_{hp} \right) \\ &= -g \cdot (1 - K_y) \cdot \varphi_{hp} \end{aligned}$$

Esto significa que si la coordinación lateral de la ganancia es $K_y=1$, entonces la componente y de la fuerza específica es $A_y = 0$, lo cual significa una coordinación perfecta.

En la Fig. 15 se ha representado una respuesta en el tiempo para $K_y = 1$. Se ve en ella claramente que $A_y = 0$. Sin embargo, puede verse también que hay algo más de distorsión en la aceleración de alabeo angular (compárense la Fig. 11.4 y la Fig. 15.4).

Si $K_y = 1$ es evidente que los dos caminos de la señal en la Fig. 13, los cuales se han destacado con un asterisco *, se cancelan entre sí. Esto significa que el filtro de φ total puede reducirse al filtro de φ -hp en serie con el filtro de eliminación de y.

Esta es también la razón por la que el filtro de eliminación de y se elige preferiblemente que sea de 1^{er} orden y no de segundo ni de más alto orden. De esa forma el filtro total es de 3^{er} orden y no de 4^o orden. Un filtro de φ total de 4^o o más alto orden habría dado por resultado todavía más distorsión de la aceleración angular de alabeo.

Reduciendo K_y a 0,7 ó a 0,8 se disminuye la coordinación lateral; sin embargo, ello conduce también a una menor distorsión de la aceleración angular de alabeo.

Puede verse, usando el teorema de "valor final" de Laplace, que para una respuesta a un paso

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{y_{roll}}{P_{ltd}} = K_y \cdot g \cdot \frac{1}{\omega_0^2 \cdot \frac{1}{\gamma}}$$

Esto significa que una velocidad de alabeo constante (de una entrada de alerones constante) conduce a un desplazamiento constante del simulador. Si el orden del filtro total, la suma de los filtros φ -hp y de eliminación de y , hubiese sido de 4º o más alto orden, entonces

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{y_{roll}}{P_{ltd}} = 0$$

Por consiguiente una segunda ventaja de elegir un filtro total de 3º orden, uno de φ -hp de 2º orden y uno de eliminación de y de 1º orden o uno de φ -hp de 1º orden y uno de eliminación de y de 2º orden, es la de que ahora, después de una maniobra el simulador queda dispuesto para aceptar la siguiente maniobra de alerones volviendo a la posición neutra o a la opuesta.

Descomposición de A_y y adición de filtros complementarios, Fig. 14

La fuerza lateral específica en el asiento del piloto en el avión es la suma de la fuerza lateral específica de un punto fijo del avión, por ejemplo, del centro de gravedad, y las aceleraciones debidas a la posición del piloto enfrente y por encima de ese punto fijo, por ejemplo en el centro de gravedad, de acuerdo con las fórmulas dadas en lo que antecede.

Una buena aproximación para la fuerza específica lateral se dio ya en la sección de definiciones, en donde solamente se consideró la aceleración debida a la aceleración angular:

$$A_{y_{pilot}} = A_{y_{cg}} + \dot{r} \cdot x_{pac} - \dot{p} \cdot z_{pac}$$

Puede verse que los filtros complementarios de 2º orden no pueden ser usados para la señal total ni para A_y en el c.g. Sin embargo, puesto que las señales p y r (las cuales son las integrales de las aceleraciones) están disponibles, pueden ser usadas, de acuerdo con realizaciones del presente invento, como señales de entrada para filtros complementarios de 2º orden. Esto se ha ilustrado en la Fig. 14. Solamente la fuerza específica lateral en el punto fijo, por ejemplo, en el centro de gravedad, sigue siendo enviada a través de los filtros clásicos.

Que sean complementarios significa que la suma de sus funciones de transferencia es igual a 1, o en otras palabras, que se respeta la señal de entrada en todo su contenido de frecuencias. El comienzo viene dado por el desplazamiento lateral, de las frecuencias más bajas a través del ángulo de alabeo. Por ejemplo, para la fuerza específica debida a la aceleración de alabeo:

$$\left[\frac{y_{A_{yp}}}{P_{ltd}} \right] = \frac{-z_{pac} (P + 2\xi\omega_n)}{P^2 + 2\xi\omega_n P + \omega_n^2}$$

$$\left[\frac{\varphi_{A_{yp}}}{P_{ltd}} \right] = \frac{z_{pac}}{g} \frac{\omega_n^2 P}{P^2 + 2\xi\omega_n P + \omega_n^2}$$

$$\left[\frac{\ddot{y}_{A_{yp}} - g \cdot \varphi_{A_{yp}}}{-z_{pac} \cdot \dot{P}_{ltd}} \right] = \frac{P^2 + 2\xi\omega_n P}{P^2 + 2\xi\omega_n P + \omega_n^2} + \frac{\omega_n^2}{P^2 + 2\xi\omega_n P + \omega_n^2}$$

$$= 1$$

Es de hacer notar que $z_{pac} < 0$ para un avión clásico.

Por el "teorema del valor inicial" de Laplace, puede verse que

$$\lim_{t \rightarrow 0} \frac{\ddot{\varphi}_{AyP}}{P_{ltd}} = \frac{\omega_1^2 \cdot 2P_{ac}}{g}$$

Esto significa que un escalón positivo en la aceleración angular (de alabeo o de guiñada) del a.c. conduce a un escalón negativo de respuesta de aceleración de alabeo angular del simulador. En caso de simular solamente una maniobra de alabeo, la aceleración a causa de la simulación de fuerza específica disminuye la respuesta de aceleración de alabeo del circuito de alabeo de la Fig. 13. Es por lo tanto importante elegir ω_1 tan baja como sea posible, con objeto de reducir este efecto tanto como sea posible.

Usando de nuevo el "teorema del valor final" de Laplace se tiene que

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\varphi_{AyP}}{P_{ltd}} = \frac{-2\xi \cdot 2P_{ac}}{\omega_1}$$

Esto significa que una velocidad de alabeo o de guiñada dada conducirá a una posición lateral definida del simulador. Una clara ventaja del método de descomponer la señal y usar filtros separados es la de que el ajuste de esos filtros puede adaptarse a las maniobras típicas: el filtro de guiñada puede ser adaptado para rodaje en tierra y para fallo de motor, el filtro de alabeo para virajes coordinados en combinación con el concepto de corrección del ángulo de alabeo (φ -cor).

Es de hacer notar que las posiciones y los ángulos del "canal de alabeo" (Fig. 13) y de los "filtros de fuerza específica A_y " (Fig. 14) han de ser sumados juntos para obtener el ángulo y la posición totales. Puesto que esa es la posición del punto P de referencia del piloto, es entonces preferible, de acuerdo con realizaciones del presente invento, convertirla en la posición del centroide de acuerdo con la ecuación que se ha dado en lo que antecede (Fig. 12).

Discusión

Maniobra de alabeo

En la Fig. 16 y en la Fig. 17 se dan unas pocas historias en el tiempo de según el concepto completo de acuerdo con una realización del presente invento, es decir, una combinación de corrección de transformaciones del centroide, introducción de la corrección del ángulo de alabeo y descomposición de A_y y adición de filtros complementarios. El recorrido lateral máximo se seleccionó para que fuese de un valor típico de 1,20 m. Se pueden hacer las siguientes observaciones:

1º/ Si se selecciona $K_y = 1$ (Fig. 16), entonces la percepción de la fuerza específica lateral A_y en el punto P de referencia del piloto en el simulador es exactamente proporcional (ganancia K_d) a su valor en el avión (Fig. 16.5).

2º/ Si la selección de K_y es algo menor, por ejemplo es $K_y = 0,8$ (Fig. 17), hay entonces una ligera distorsión de la señal A_y (Fig. 17.5) mientras que al mismo tiempo disminuye el desplazamiento lateral requerido (Fig. 17.1 frente a la Fig. 16.1) y mejora ligeramente la respuesta de la aceleración angular de alabeo φ (Fig. 17.4 frente a la Fig. 16.4).

Con objeto de que no se exceda nunca el recorrido disponible máximo del simulador, de acuerdo con realizaciones del presente invento, se puede añadir una función de limitación de la velocidad (Fig. 18):

$$P_{ltd} = 0.5 \cdot p + \frac{P_{lim}}{\pi} \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot p}{2 P_{lim}}\right)$$

$$p > 2 P_{lim} \quad \text{then} \quad P_{ltd} = P_{lim}$$

$$p < -2 P_{lim} \quad \text{then} \quad P_{ltd} = -P_{lim}$$

La segunda derivada con respecto al tiempo de esta función es continua.

Maniobra de rodaje en tierra

5 No se incluye ninguna historia de tiempo.

Especialmente a velocidades de rodaje en tierra reducidas, Ay en cg es de “naturaleza de baja frecuencia”, es decir, que no hay cambios bruscos en las fuerzas laterales sobre los neumáticos principales. Por lo tanto, a tales velocidades se evidencian los mayores beneficios de este esquema.

10

Las realizaciones del método antes descrito del presente invento pueden implementarse en un sistema de procesado 1500, tal como el representado en la Fig. 19. En la Fig. 19 se ha representado una configuración de sistema de procesado 1500 que incluye al menos un procesador programable 1503 acoplado a un subsistema de memoria 1505 que incluye al menos una forma de memoria, por ejemplo, de memoria RAM, ROM, etc. Puede incluirse un subsistema de almacenamiento 1507 que tenga al menos un excitador de disco y/o un excitador de CD-ROM y/o un excitador de DVD. En algunas implementaciones, pueden estar incluidos un sistema de presentación, un teclado, y un dispositivo de señalar, como parte de un subsistema 1509 de interfaz con el usuario, para proporcionar para un usuario manualmente información de entrada. También pueden estar incluidos puertos de entrada y salida de datos. Puede haber incluidos más elementos tales como conexiones con la red, interfaces con varios dispositivos, etc., pero que no se han ilustrado en la Fig. 19. Los diversos elementos del sistema de procesado 1500 pueden ser acoplados de diversos modos, incluyendo hacerlo a través de un subsistema de bus 1513 representado en la Fig. 19, para simplificar, como un solo bus, pero se comprenderá por quienes estén en esta técnica que incluye un sistema de al menos un bus. La memoria del subsistema de memoria 1505 puede en algún momento formar parte, o ser la totalidad (en uno u otro caso representado como 1511), de un conjunto de instrucciones que, cuando al ser ejecutadas en el sistema de procesado 1500, implementan el paso (o pasos) de las realizaciones del método que aquí se ha descrito. Por consiguiente, aunque un sistema de procesado 1500 tal como el ilustrado en la Fig. 19 es técnica anterior, un sistema que incluya las instrucciones para implementar aspectos del presente invento no es técnica anterior, y por lo tanto la Fig. 19 no se ha etiquetado como de técnica anterior.

Es de hacer notar que el procesador 1503, o los procesadores, puede ser un procesador para fines generales, o un procesador para un fin especial, y puede ser para su inclusión en un dispositivo, por ejemplo, en un chip que tenga otros componentes que realicen otras funciones. Por consiguiente, uno o más aspectos del presente invento pueden implementarse en circuitos electrónicos digitales, o bien en equipo físico de ordenador, en soporte lógico inalterable (firmware), en software, o en combinaciones de éstos. Además, aspectos del invento pueden implementarse en un producto de programa de ordenador incorporado de modo tangible en un medio de soporte que lleve un código legible por la máquina para ejecución mediante un procesador programable. Los pasos del método de aspectos del invento pueden ser realizados mediante un procesador programable que ejecute las instrucciones para realizar las funciones de esos aspectos del invento, por ejemplo, operando para ello sobre datos de entrada y generando datos de salida.

El antes citado sistema de procesado puede ser para uso en un simulador de vuelo, como por ejemplo se ha ilustrado en la Fig. 20.

Ha de quedar entendido que aunque se han discutido aquí realizaciones preferidas de métodos y dispositivos de acuerdo con el presente invento, se pueden efectuar diversos cambios o modificaciones, en la forma y en los detalles, sin rebasar el alcance del invento.

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Un método para controlar los movimientos de un simulador de vuelo, que implica aceleraciones lineales y angulares percibidas por un piloto sentado en el asiento para el piloto,

con lo que la velocidad de alabeo (p) y la velocidad de guiñada (r), así como una fuerza específica en una dirección lateral (A_y), calculadas de acuerdo con un modelo de un avión simulado en un punto fijo del avión simulado, son convertidas por un programa de movimiento en una posición lateral (y) y un ángulo de alabeo (φ) del simulador, **caracterizado** porque el método comprende cualquiera de los pasos de: calcular el ángulo de alabeo (φ) del simulador debido al ángulo de alabeo del avión simulado, corrigiendo para ello un valor calculado originalmente (φ_{hp}) del ángulo de alabeo (φ) por un factor de corrección (φ_{cor}) proporcional a una fuerza específica lateral, inducida por un filtro de eliminación usado durante el cálculo de alineación de la gravedad terrestre de la posición lateral (y) del simulador,

y/o

- descomponer la fuerza específica en la dirección lateral (A_{ypilot}) que actúa en el punto de referencia del piloto en el avión simulado, en una primera componente y una segunda componente, la primera componente relativa a la fuerza específica (A_y) en un punto fijo del avión simulado, y la segunda componente que tiene un primer término relacionado con la aceleración debida a las aceleraciones angulares de guiñada (r) y un segundo término relacionado con las aceleraciones angulares de alabeo (p), de acuerdo con la fórmula

$$A_{ypilot} = A_y + \dot{r} \cdot xp_{ac} - \dot{p} \cdot zp_{ac}$$

siendo xp_{ac} la coordenada x del punto (P) de referencia del piloto en un sistema de referencia que tiene el origen en el punto fijo del avión simulado y siendo zp_{ac} la coordenada z del punto de referencia del piloto en dicho sistema de referencia, siendo $\dot{p}$ la aceleración angular de alabeo y siendo $\dot{r}$ la aceleración angular de guiñada,

- filtrar la primera componente (A_y) a través de dos filtros, un filtro de paso alto y un filtro de paso bajo,

- filtrar cada uno de los términos de la segunda componente mediante un juego de un primer y un segundo filtros complementarios en paralelo, siendo filtros complementarios los filtros cuya suma de funciones de transferencia es uno,

- usar la suma de la salida del filtro de paso alto y de la salida del primero de los filtros complementarios de cada juego para calcular la posición lateral (y) deseada del simulador, y usar la suma de la salida del filtro de paso bajo y de la salida del segundo de los filtros complementarios de cada juego para calcular el ángulo de alabeo (φ) deseado del simulador.

2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el cálculo del ángulo de alabeo (φ_{roll}) del simulador comprende usar una transformación matemática que implica la alimentación hacia delante de un ángulo de corrección (φ_{cor}) en la función de transformación del ángulo de alabeo, de acuerdo con las fórmulas

$$\varphi_{cor} = K_y \cdot \varphi_{hp} - \ddot{y}_{roll} / g$$

$$\varphi_{roll} = \varphi_{hp} - \varphi_{cor}$$

donde (φ_{hp}) es igual al ángulo de alabeo del simulador filtrado por el filtro de paso alto,

$\ddot{y}_{roll}$ es igual a la aceleración de la posición lateral del punto P de referencia del piloto, que es el resultado de multiplicar φ_{hp} por una ganancia K_y y g y luego filtrar por el filtro de paso alto,

g es la constante gravitatoria terrestre,

K_y es un factor de coordinación lateral de la ganancia,

φ -roll es igual al ángulo de alabeo del simulador, como resultado de la aceleración de alabeo o de la velocidad de alabeo del avión simulado.

3. Un método de acuerdo con la reivindicación 2, en el que dicho factor K_y de coordinación lateral de la transformación matemática entre 0 y 1 se introduce, permitiendo reducir el recorrido lateral a expensas de alguna fuerza específica lateral espuria aceptable, modulando para ello entre un caso de “no coordinación”, en el que $K_y = 0$, y un caso de “coordinación total” en el que $K_y = 1$.

4. Un método de acuerdo con la reivindicación 3, en el que $K_y = 1$, y el ángulo de alabeo (φ -roll) se obtiene mediante un filtro de paso alto de tercero o de cuarto orden en la velocidad de alabeo del avión simulado, y la aceleración lateral es en cada caso igual a ese ángulo de alabeo (φ -roll) multiplicado por la aceleración terrestre (g).

5. Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en el que la transformación matemática implica un filtro de paso alto del ángulo de alabeo (φ -roll) de segundo orden y un filtro de eliminación de y de primer orden, de acuerdo con las fórmulas de la función de transferencia

$$\left[\frac{\varphi_{hp}}{P_{lid}} \right] = \frac{P}{P^2 + 2\xi\omega_n P + \omega_n^2}$$

$$\left[\frac{\ddot{y}_{roll}/g}{\varphi_{hp}} \right] = K_y \cdot \frac{P}{P + \frac{1}{T}}$$

donde P_{lid} es la velocidad de alabeo de entrada limitada a través de un factor de ganancia de ajuste descendente K_d , y opcionalmente una función limitadora de la velocidad de alabeo, de tal modo que para un paso en el mando de los alerones, el recorrido lateral del simulador es de un valor finito, y donde P representa el operador de Laplace.

6. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en el que la transformación matemática implica un filtro de paso alto (φ_{hp}) del ángulo de alabeo de primer orden, y un filtro de eliminación de y de segundo orden.

7. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el segundo componente de la fuerza específica en la dirección lateral se obtiene por medio de cuatro filtros adicionales: un primer juego de dos filtros complementarios para la aceleración de alabeo y un segundo juego de dos filtros complementarios para la aceleración de guiñada, de modo que en cada juego de filtros complementarios, uno manda una excursión lateral del simulador y el otro manda un ángulo de alabeo del simulador, de acuerdo con las fórmulas de la función de transferencia

$$\left[\frac{y_{Ayp}}{P_{lid}} \right] = -2P_{ac} \cdot \frac{P + 2\xi\omega_n}{P^2 + 2\xi\omega_n P + \omega_n^2}$$

$$\left[\frac{\varphi_{Ayp}}{P_{lid}} \right] = \frac{2P_{ac}}{g} \cdot \frac{\omega_n^2 \cdot P}{P^2 + 2\xi\omega_n P + \omega_n^2}$$

y

$$\left[\frac{y_{A_y r}}{r_{lid}} \right] = x p_{ac} \frac{p + 2 \xi \omega_n}{p^2 + 2 \xi \omega_n p + \omega_n^2}$$

$$\left[\frac{\varphi_{A_y r}}{r_{lid}} \right] = - \frac{x p_{ac}}{g} \cdot \frac{\omega_n^2}{p^2 + 2 \xi \omega_n p + \omega_n^2}$$

donde P_{lid} y r_{lid} son, respectivamente, la velocidad de entrada de alabeo y de guiñada, limitadas por un factor de ganancia de ajuste descendente K_p y K_r respectivamente, y opcionalmente a través de una función limitadora de la velocidad, y P es el operador de Laplace.

8. Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el punto fijo del avión simulado es el centro de gravedad de dicho avión simulado.

9. Un producto de programas de ordenador para ejecutar cualquiera de los métodos tales como los que aquí se han reivindicado en las reivindicaciones anteriores, cuando se ejecuta en un dispositivo de cálculo asociado con un simulador de vuelo que simula a un avión.

10. Un dispositivo de almacenamiento de datos legibles a máquina que lleva el producto de programa de ordenador según la reivindicación 9.

11. Un controlador adaptado para controlar los movimientos de un simulador de vuelo, que implica las aceleraciones lineales y angulares percibidas por un piloto sentado en el asiento para el piloto,

con lo que la velocidad de alabeo (p) y la velocidad de guiñada (r), así como una fuerza específica en una dirección lateral (A_y) calculadas de acuerdo con un modelo de un avión simulado en un punto fijo del avión simulado, son convertidas por un programa de movimiento en una posición lateral (y) y un ángulo de alabeo (φ) del simulador,

en que el controlador comprende cualquiera de:

una primera calculadora adaptada para calcular el ángulo de alabeo (φ) del simulador debido al ángulo de alabeo del avión simulado, corrigiendo para ello un valor calculado originalmente (φ_{hp}) del ángulo de alabeo (φ) por un factor de corrección (φ_{cor}) proporcional a una fuerza específica lateral inducida por un filtro de eliminación usado durante el cálculo de la alineación de la gravedad terrestre de la posición lateral (y) del simulador,

- una segunda calculadora adaptada para descomponer la fuerza específica en la dirección lateral (A_{ypilot}) que actúa en el punto de referencia del piloto en el avión simulado, en una primera componente y una segunda componente, relativa la primera componente a la fuerza específica (A_y) en un punto fijo del avión simulado, y teniendo la segunda componente un primer término relacionado con las aceleraciones debidas a la guiñada (r) y un segundo término relacionado con las aceleraciones angulares de alabeo (p), de acuerdo con la fórmula

$$A_{ypilot} = A_y + \dot{r} \cdot x p_{ac} - p \cdot z p_{ac}$$

siendo $x p_{ac}$ la coordenada x del punto (P) de referencia del piloto en un sistema de referencia que tiene su origen en el punto fijo del avión simulado y siendo $z p_{ac}$ la coordenada z del punto de referencia del piloto en dicho sistema de referencia, siendo $\dot{r}$ la aceleración angular de alabeo y siendo $\dot{\Gamma}$ la aceleración angular de guiñada,

- un filtro de paso alto y un filtro de paso bajo para filtrar la primera componente (A_y),

ES 2 342 901 T3

- dos juegos de un primer y un segundo filtros complementarios, siendo filtros complementarios aquellos cuya suma de funciones de transferencia es uno, para filtrar cada uno de los términos de la segunda componente en paralelo,

- un combinador para combinar la salida del filtro de paso alto y las salidas del primero de los filtros complementarios de cada juego, para calcular la posición lateral (y) deseada del simulador, y un combinador para combinar la salida del filtro de paso bajo y las salidas del segundo de los filtros complementarios de cada juego para calcular el ángulo de alabeo (φ) deseado del simulador.

12. Un simulador de vuelo adaptado para realizar movimientos controlados, que implica las aceleraciones lineales y angulares percibidas por un piloto sentado en el asiento para el piloto,

con lo que la velocidad de alabeo (p) y la velocidad de guiñada (r), así como una fuerza específica en una dirección lateral (A_y), calculadas de acuerdo con un modelo de un avión simulado en un punto fijo del avión simulado, son convertidas por un programa de movimiento en una posición lateral (y) y un ángulo de alabeo (φ) del simulador,

en que el simulador de vuelo comprende cualquiera de:

una primera calculadora adaptada para calcular el ángulo de alabeo (φ) del simulador debido al ángulo de alabeo del avión simulado, corrigiendo para ello un valor (φ_{hp}) originalmente calculado del ángulo de alabeo (φ) por un factor de corrección (φ_{cor}) proporcional a una fuerza específica lateral inducida por un filtro de eliminación, usado durante el cálculo de la alineación de la gravedad terrestre de la posición lateral (y) del simulador,

y/o

una segunda calculadora adaptada para descomponer la fuerza específica en la dirección lateral (A_{ypilot}) que actúa en el punto de referencia del piloto en el avión simulado, en una primera componente y una segunda componente, relacionada la primera componente con la fuerza específica (A_y) en un punto fijo del avión simulado, y teniendo la segunda componente un primer término relacionado con las aceleraciones debidas a la aceleración de guiñada (r) y un segundo término relacionado con las aceleraciones angulares de alabeo (p), de acuerdo con la fórmula

$$A_{ypilot} = A_y + \dot{r}.xp_{ac} - \dot{p}.zp_{ac}$$

siendo xp_{ac} la coordenada x del punto (P) de referencia del piloto en un sistema de referencia que tiene su origen en el punto fijo del avión simulado, y siendo zp_{ac} la coordenada z del punto de referencia del piloto en dicho sistema de referencia, siendo $\dot{p}$ la aceleración angular de alabeo y siendo $\dot{r}$ la aceleración angular de guiñada.

- un filtro de paso alto y un filtro de paso bajo para filtrar la primera componente (A_y),

- dos juegos de un primer y un segundo filtros complementarios, siendo filtros complementarios aquellos filtros cuya suma de funciones de transferencia es uno, para filtrar cada uno de los términos de la segunda componente en paralelo,

- un combinador para combinar la salida del filtro de paso alto y las salidas del primero de los filtros complementarios de cada juego, para calcular la posición lateral (y) deseada del simulador, y un combinador para combinar la salida del filtro de paso bajo y las salidas del segundo de los filtros complementarios de cada juego para calcular el ángulo de alabeo (φ) deseado del simulador.

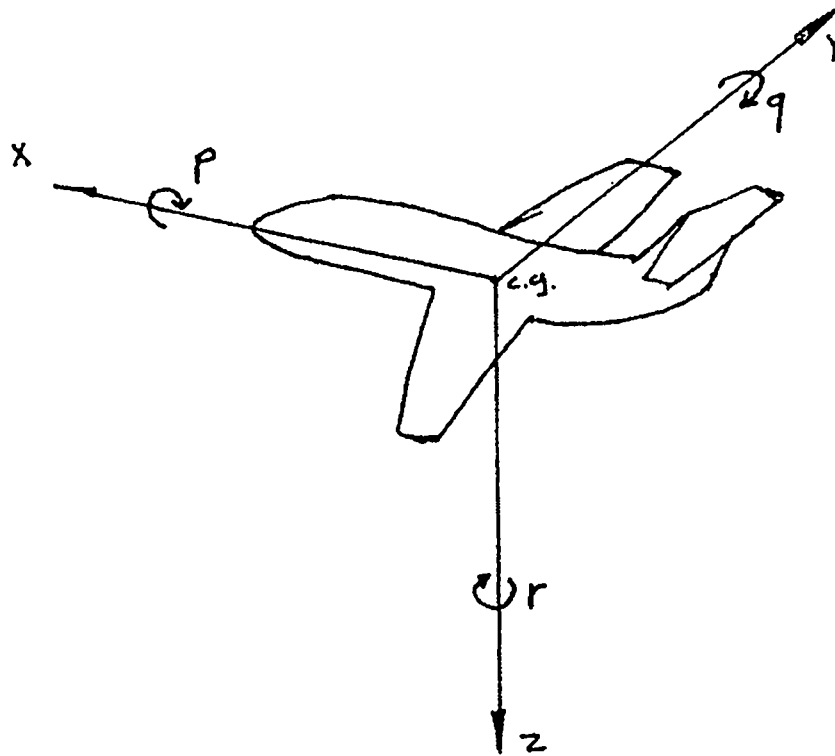


Fig. 1

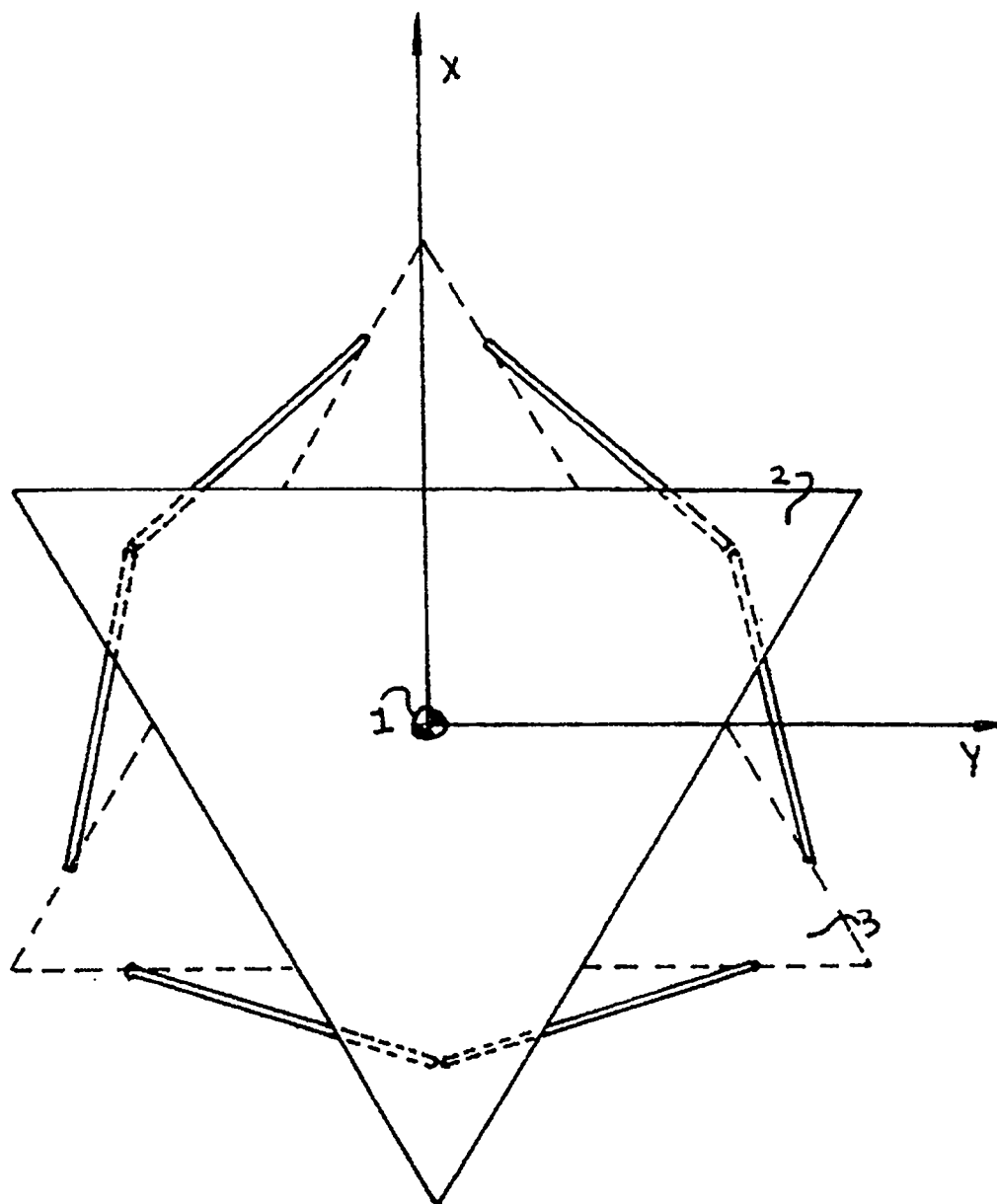


Fig. 2

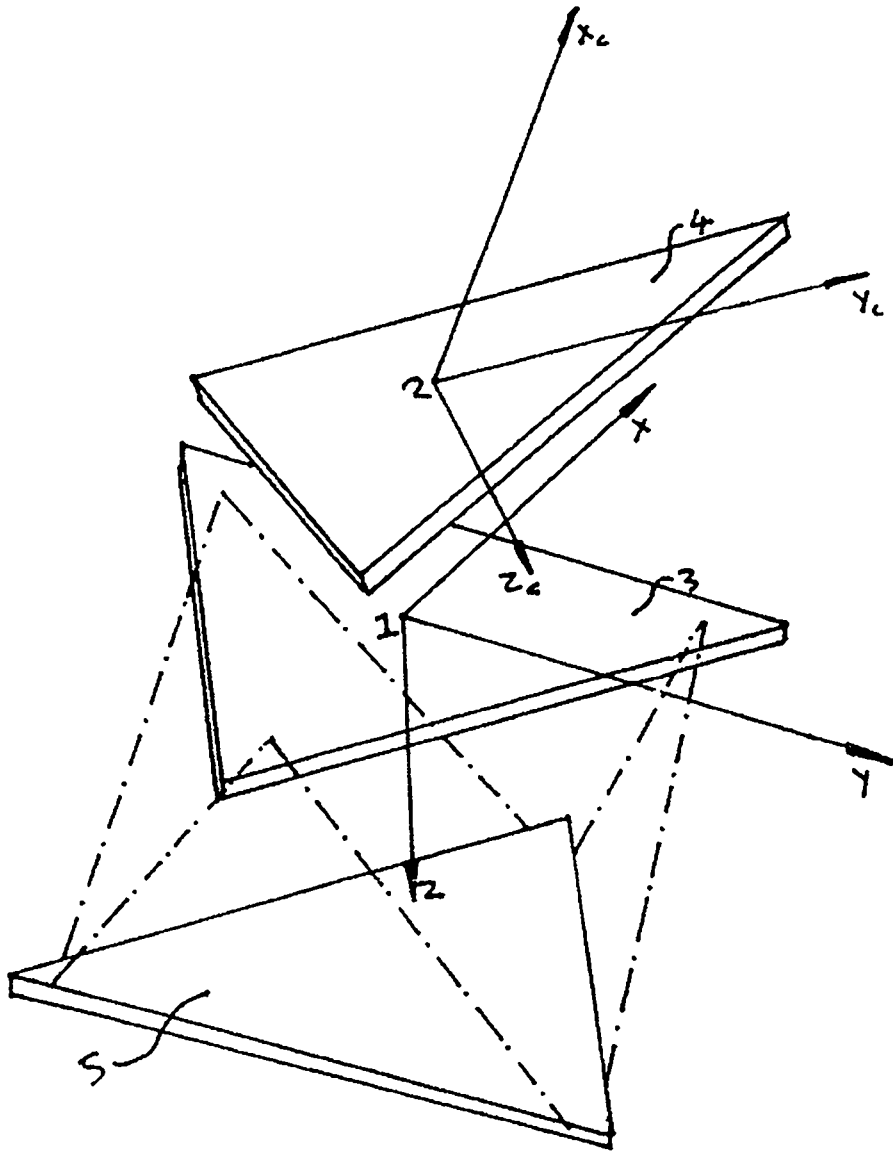


Fig. 3

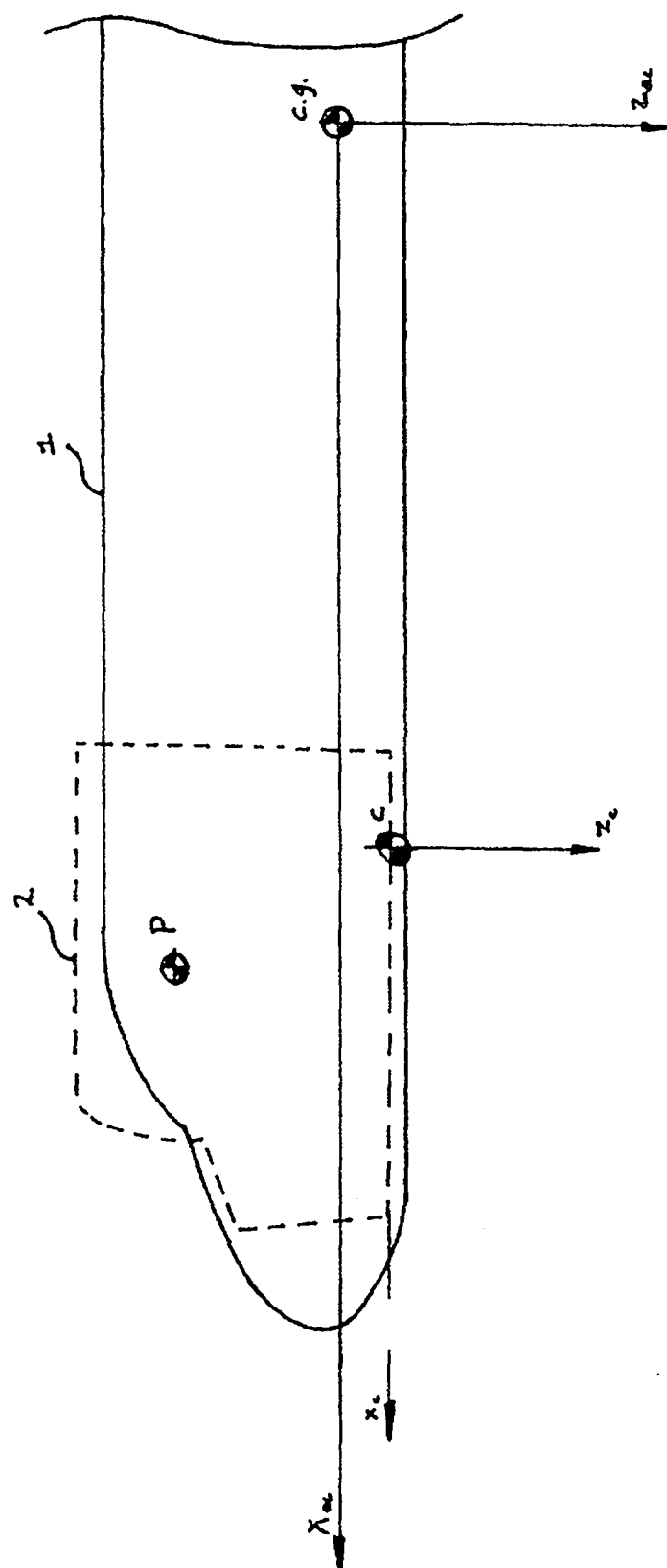


Fig. 4

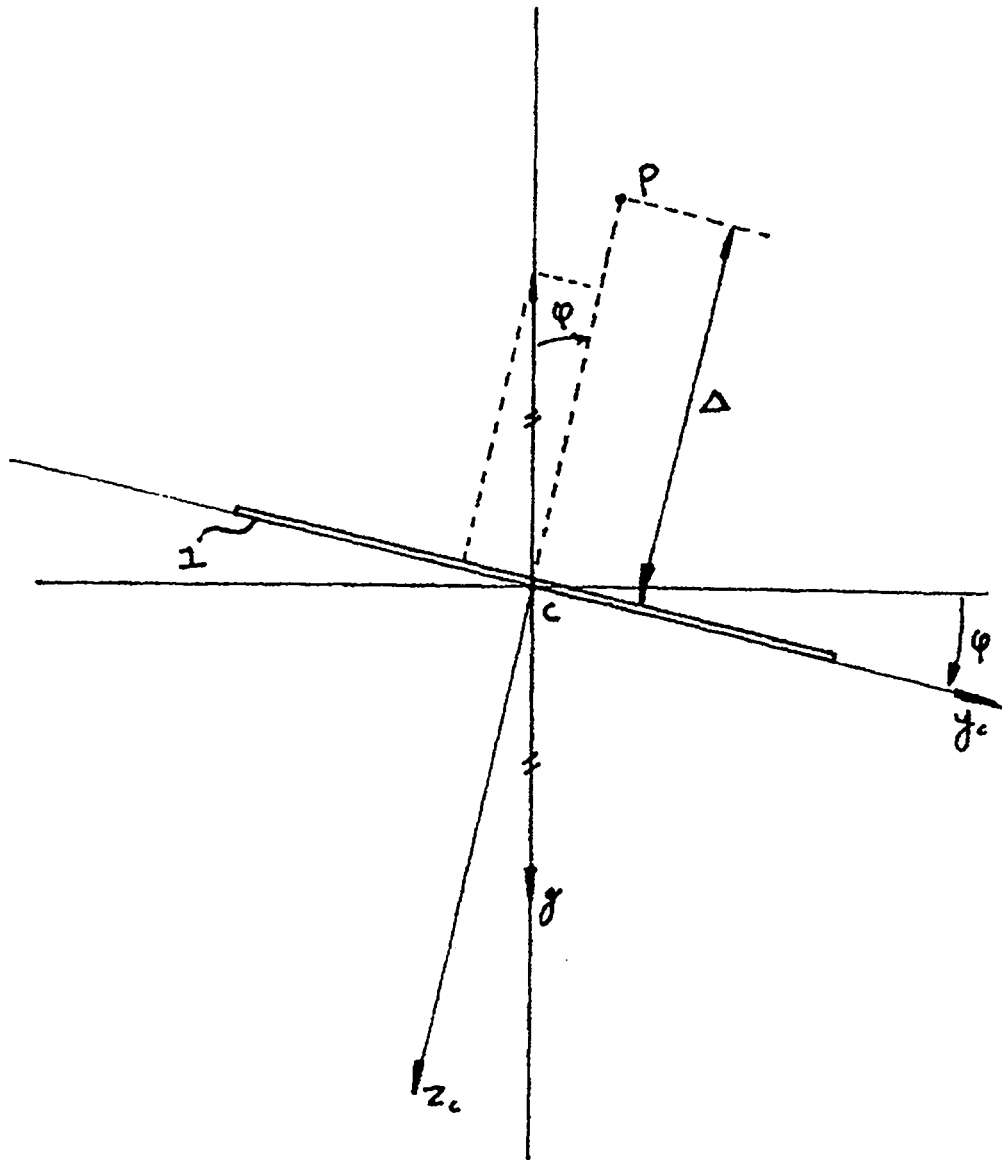


Fig. 5

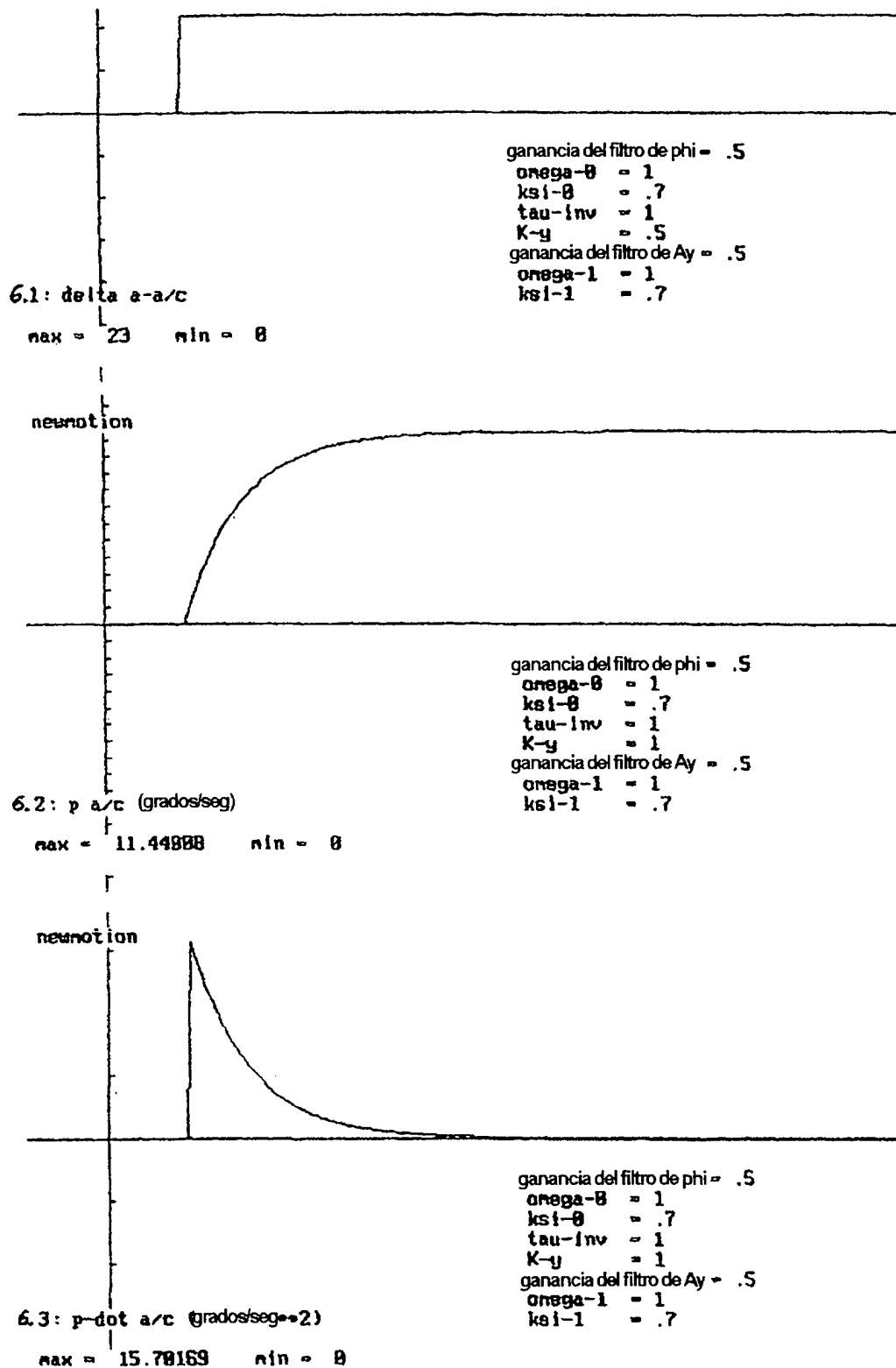


Fig. 6

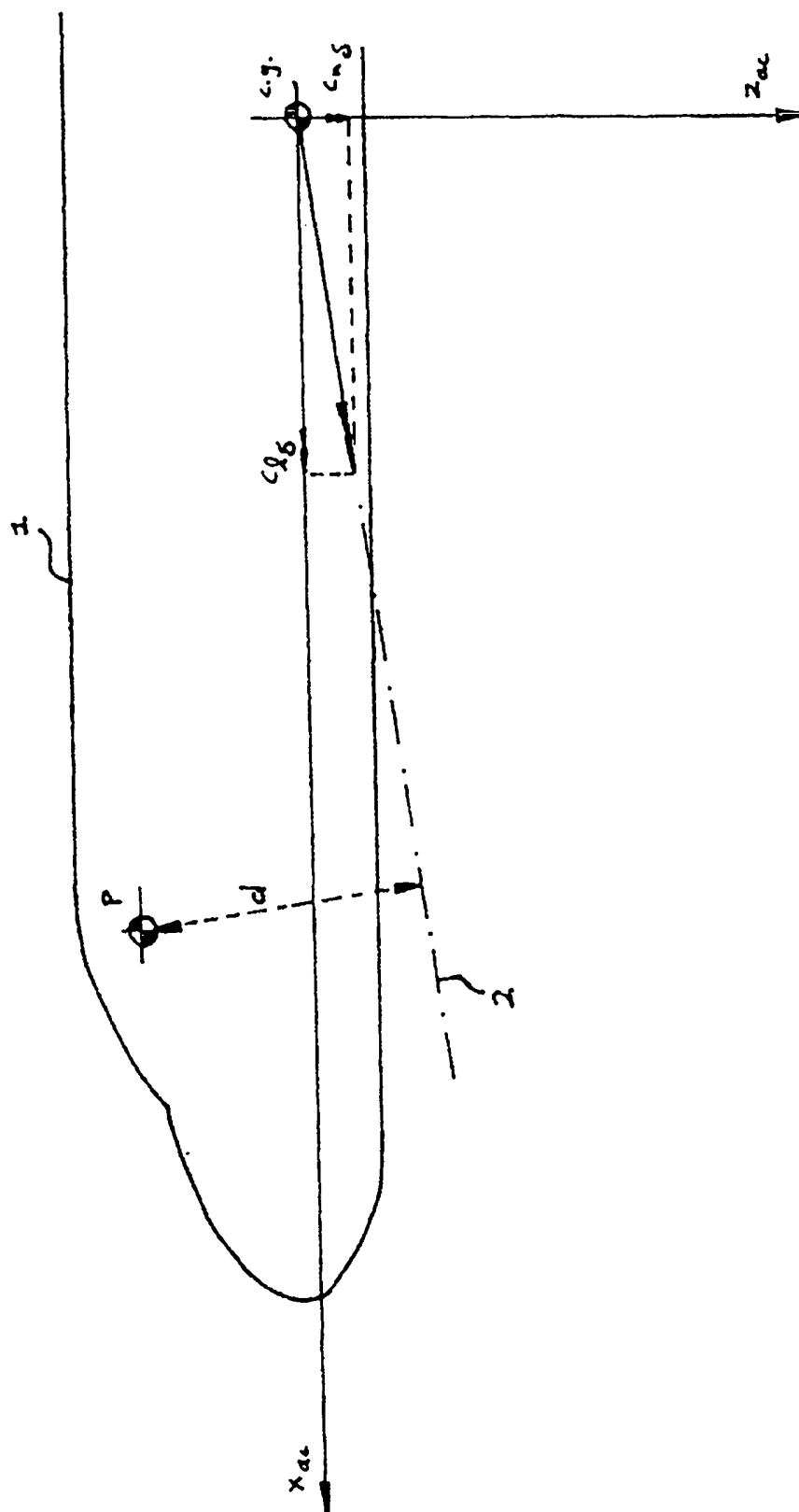


Fig. 7

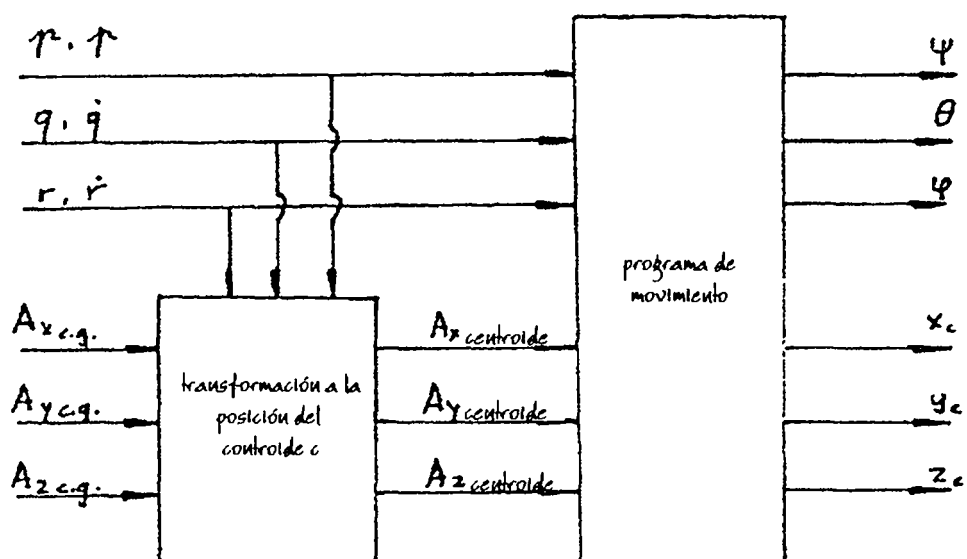


Fig. 8

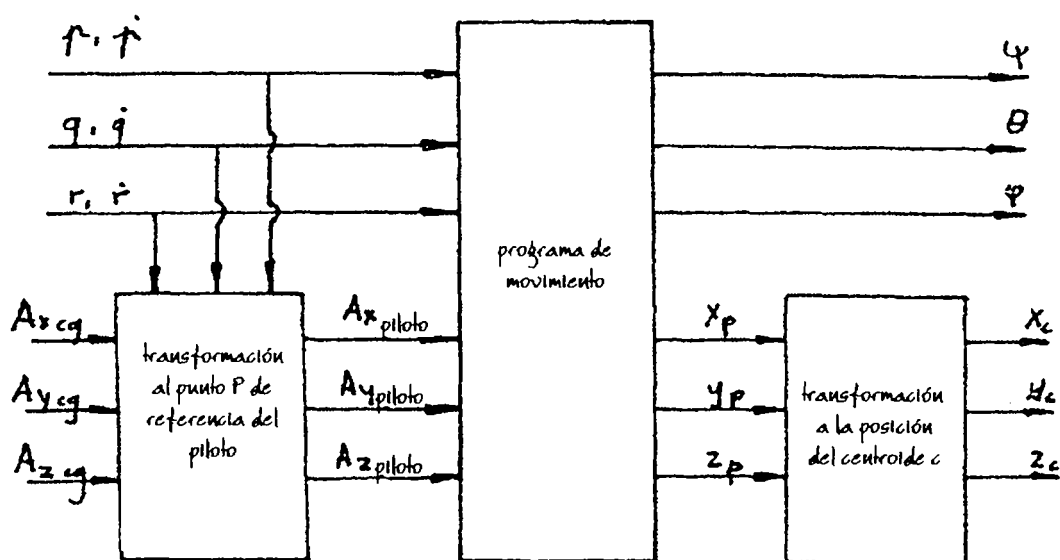


Fig. 12

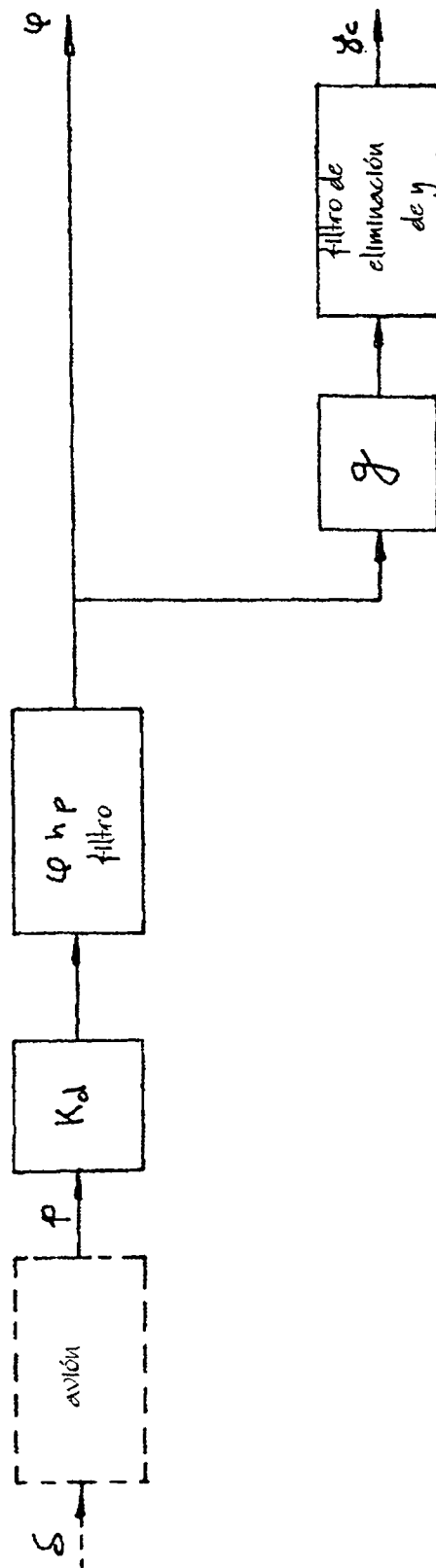


Fig. 9

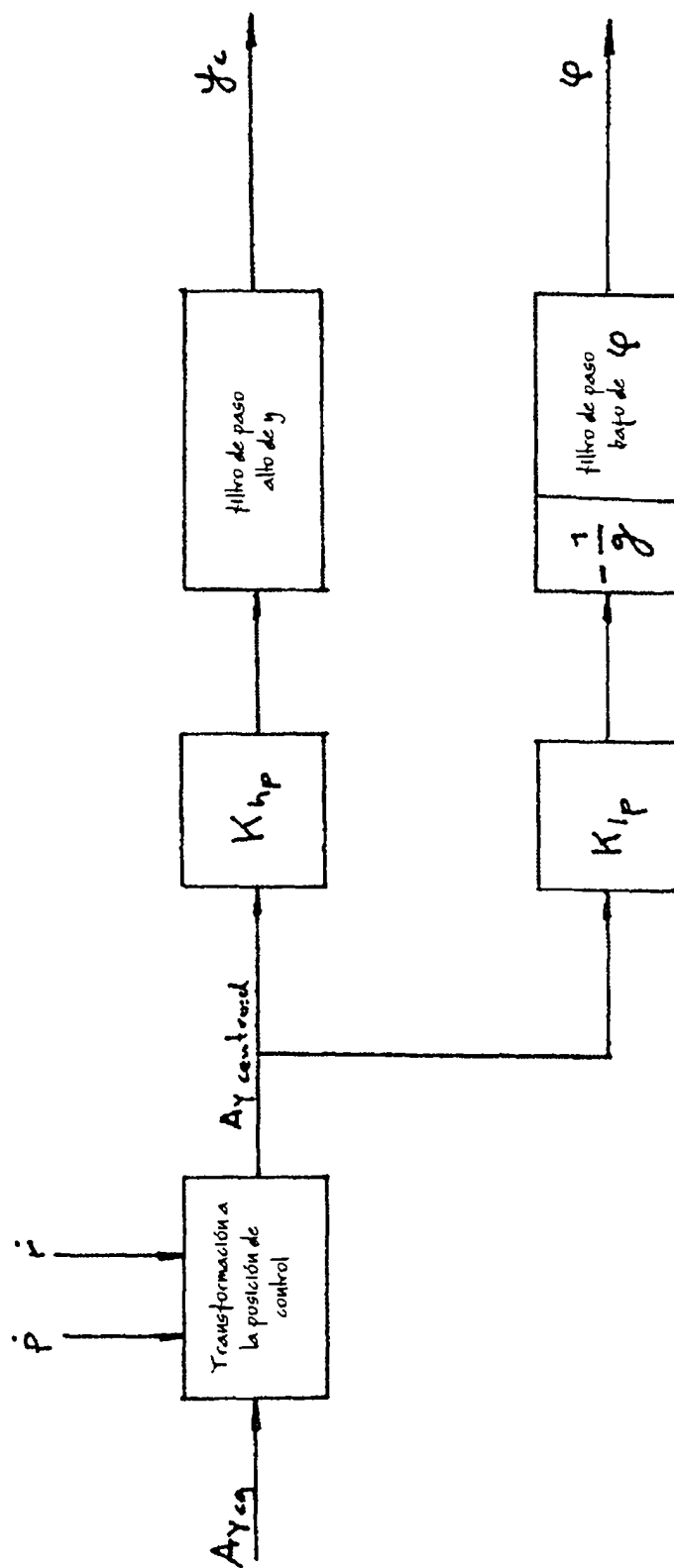


Fig. 10

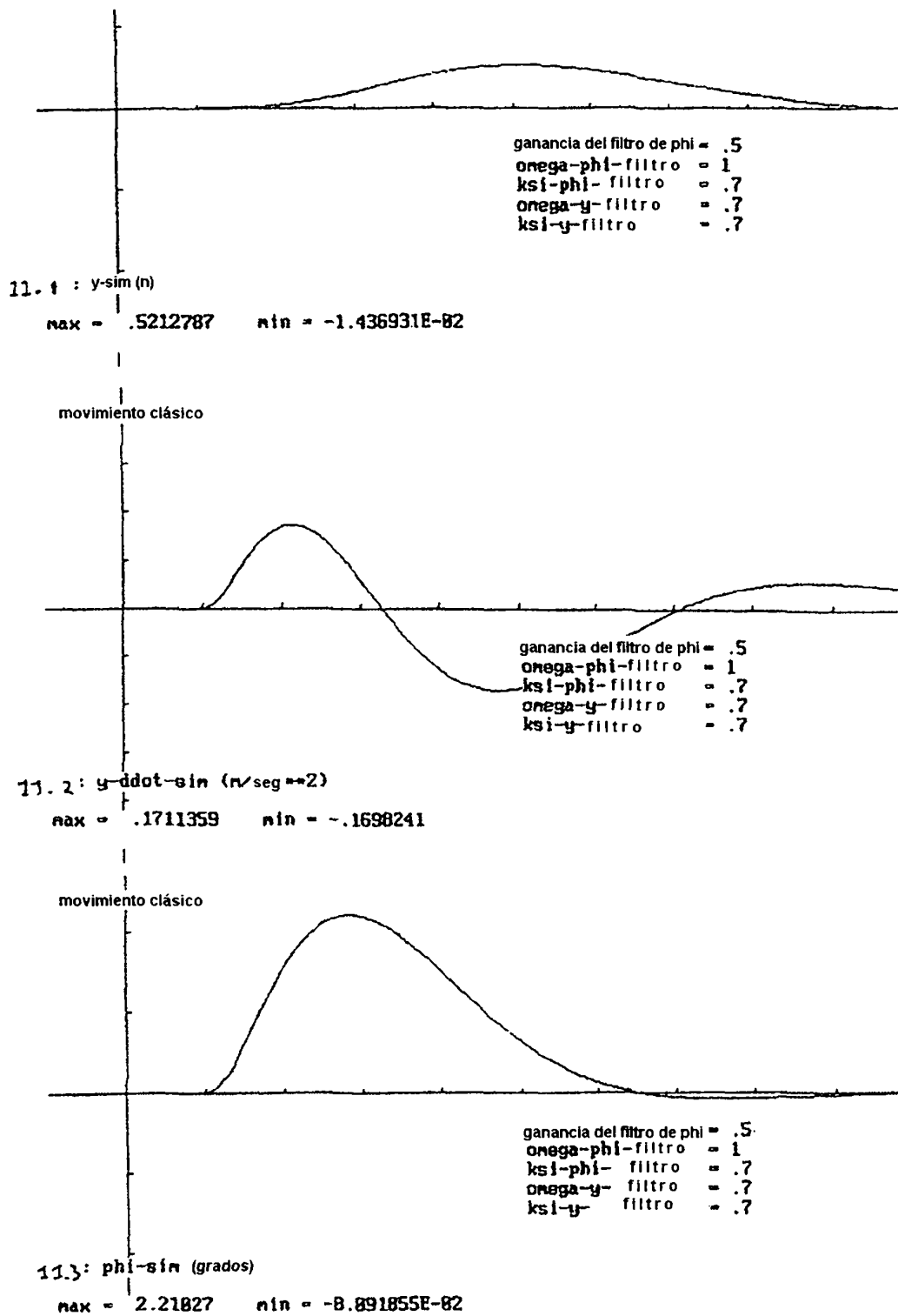


Fig. 11

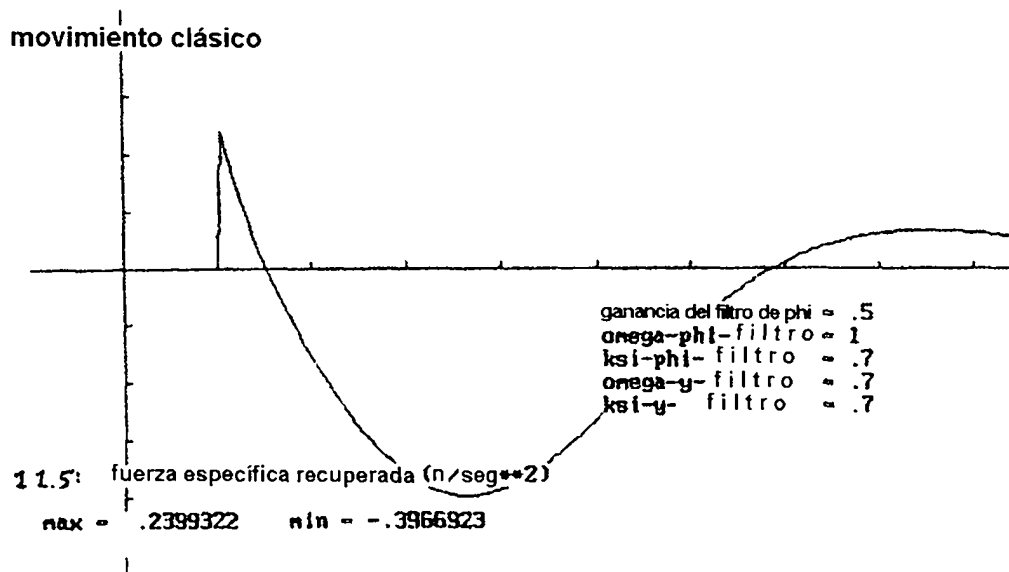
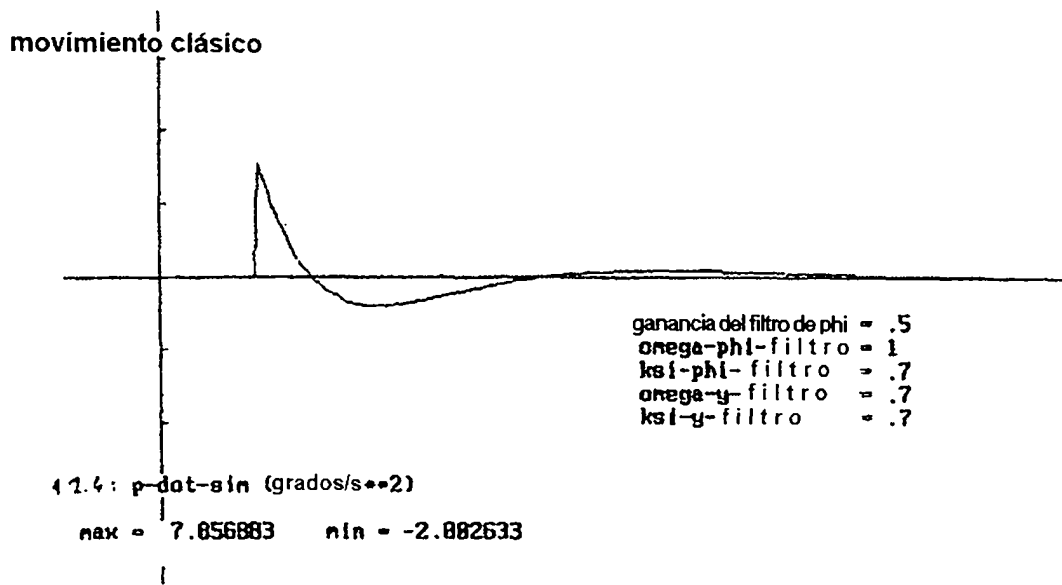


Fig. 11 — continuación

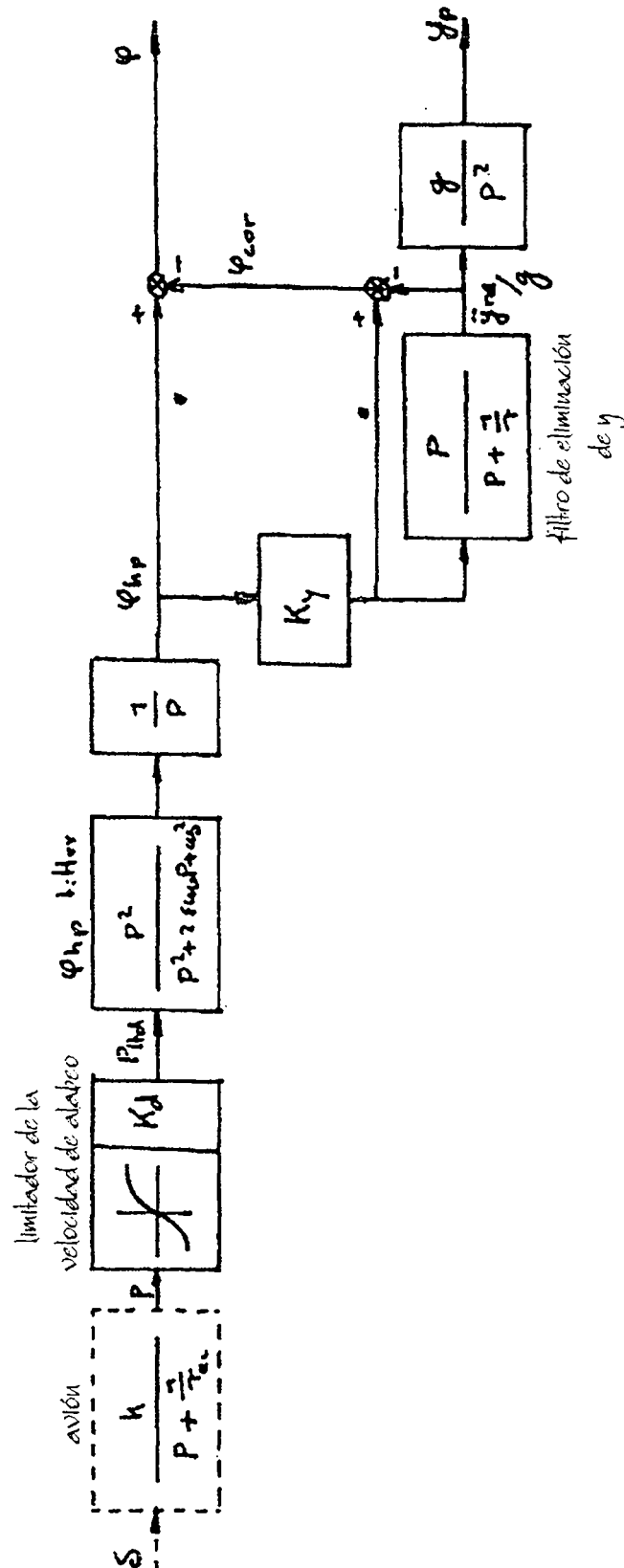


Fig. 13

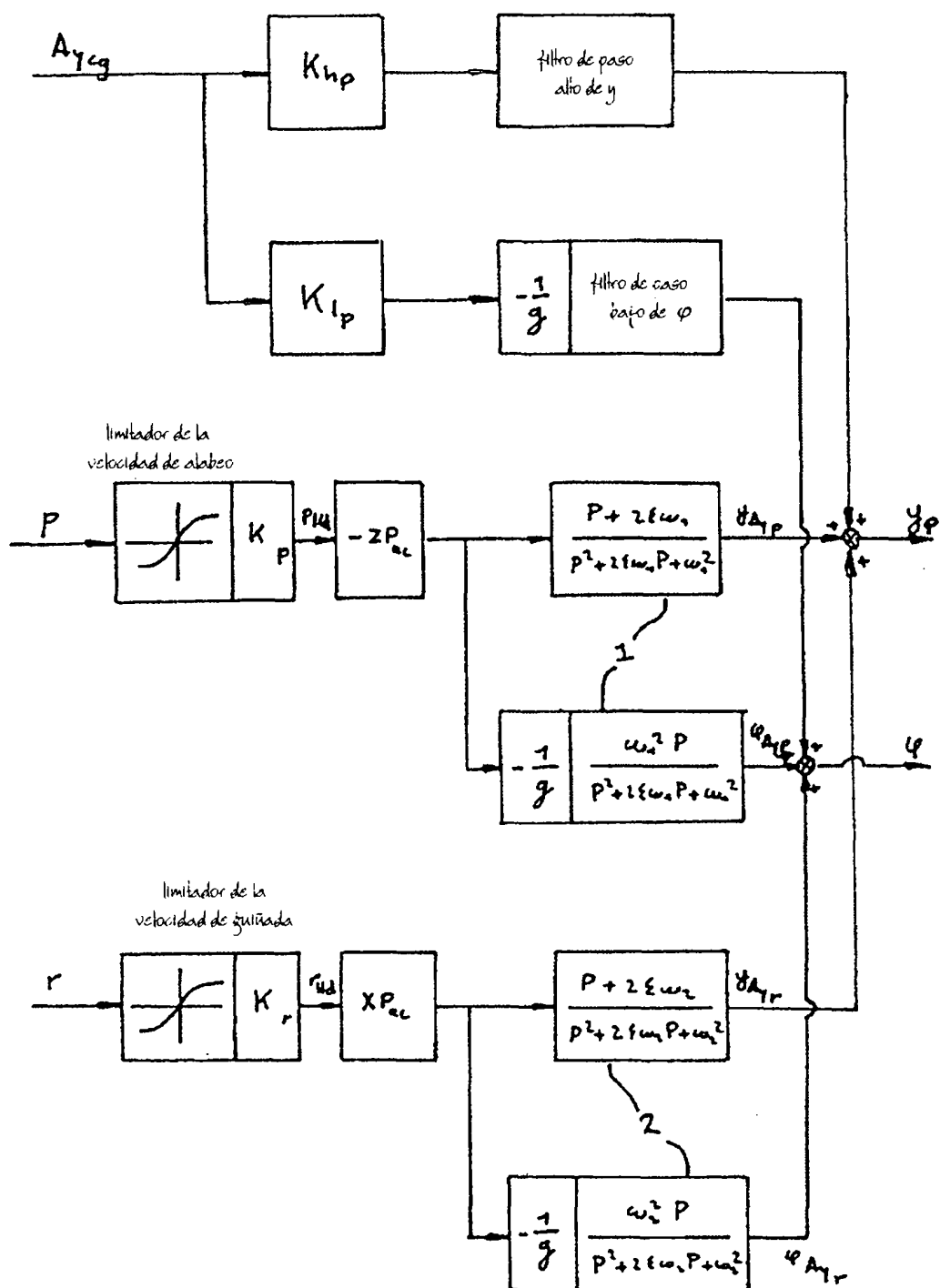


Fig. 14

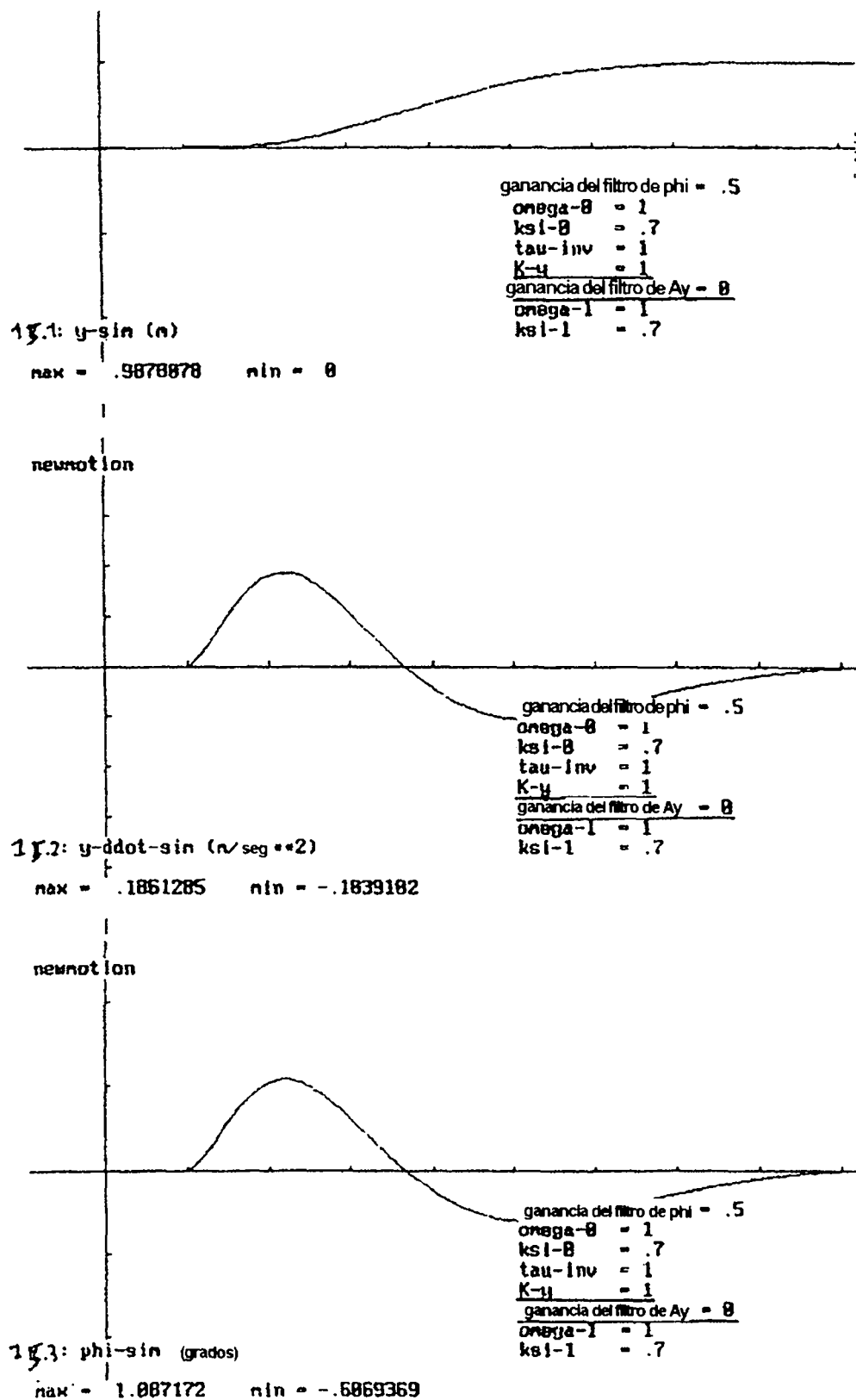


Fig. 15

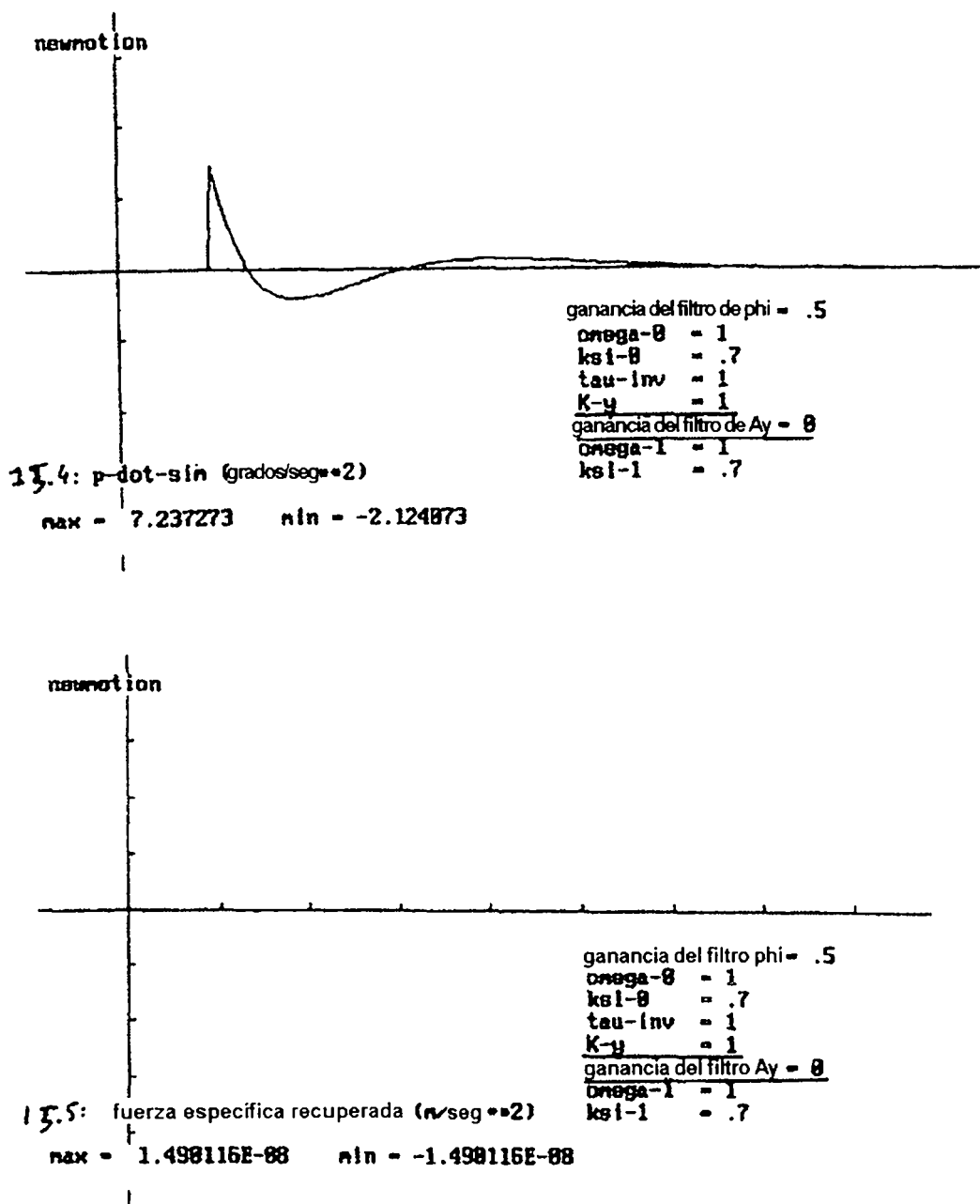


Fig. 15 –continuación

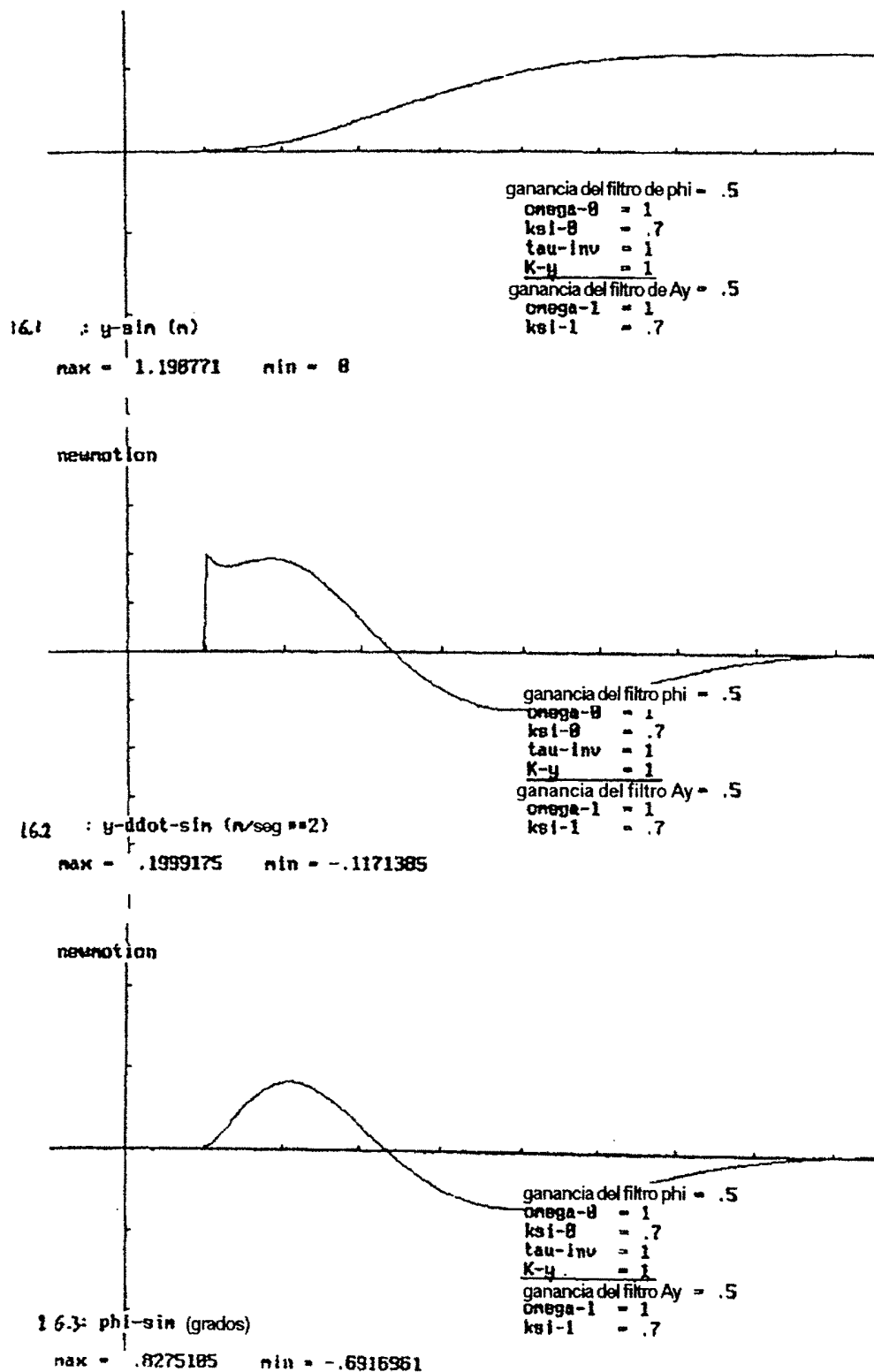


Fig. 16

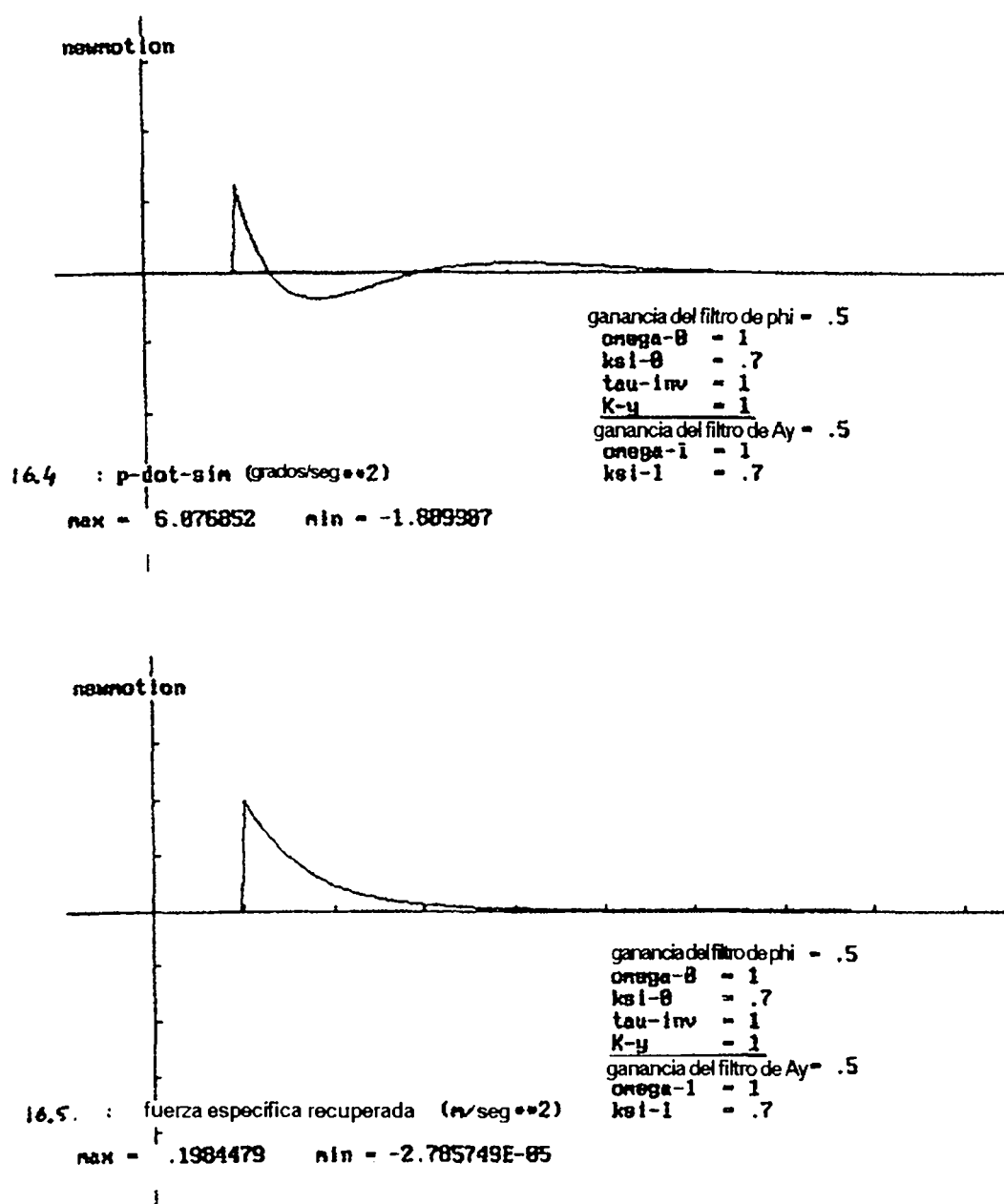


Fig. 16 — continuación

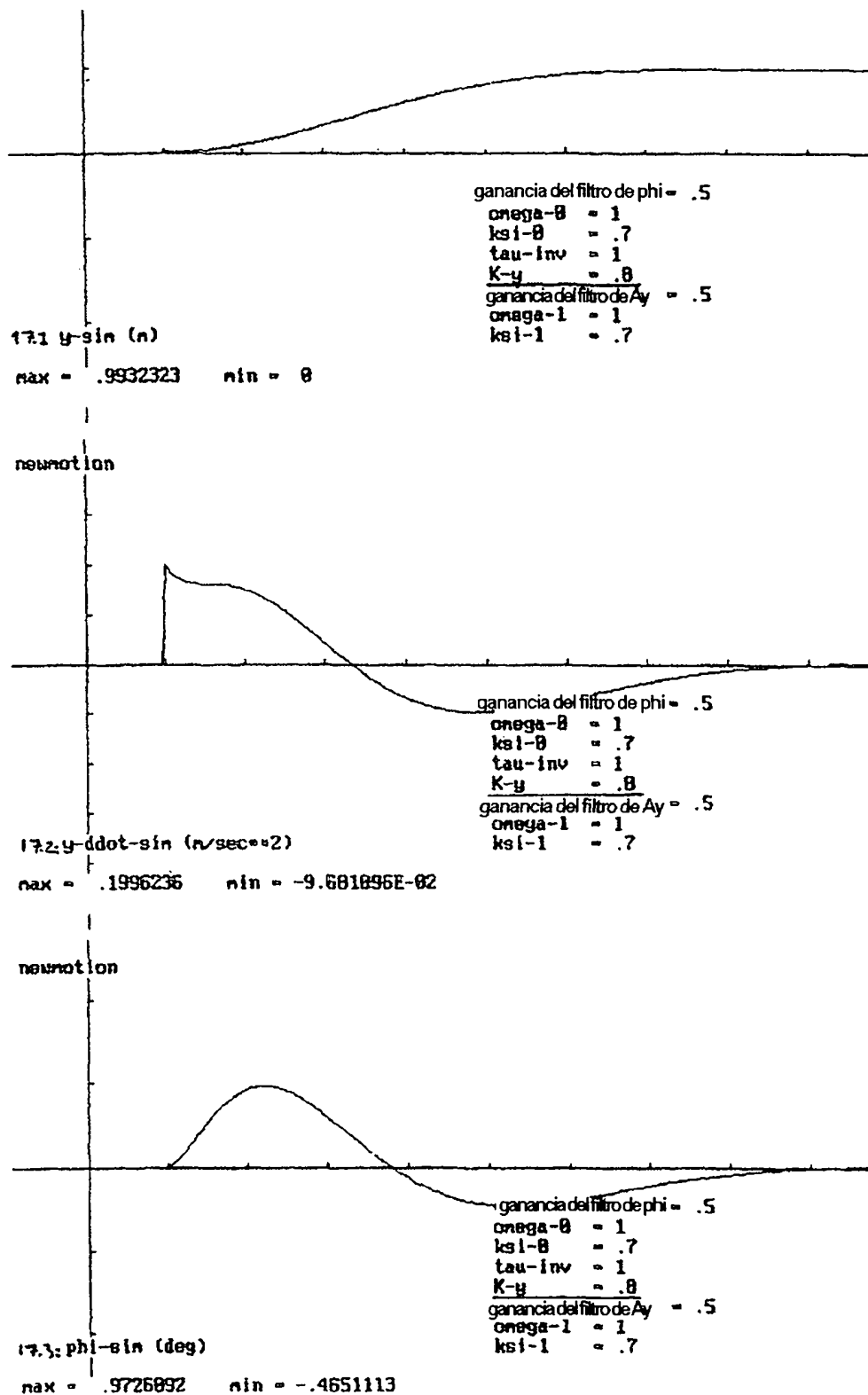


Fig. 17

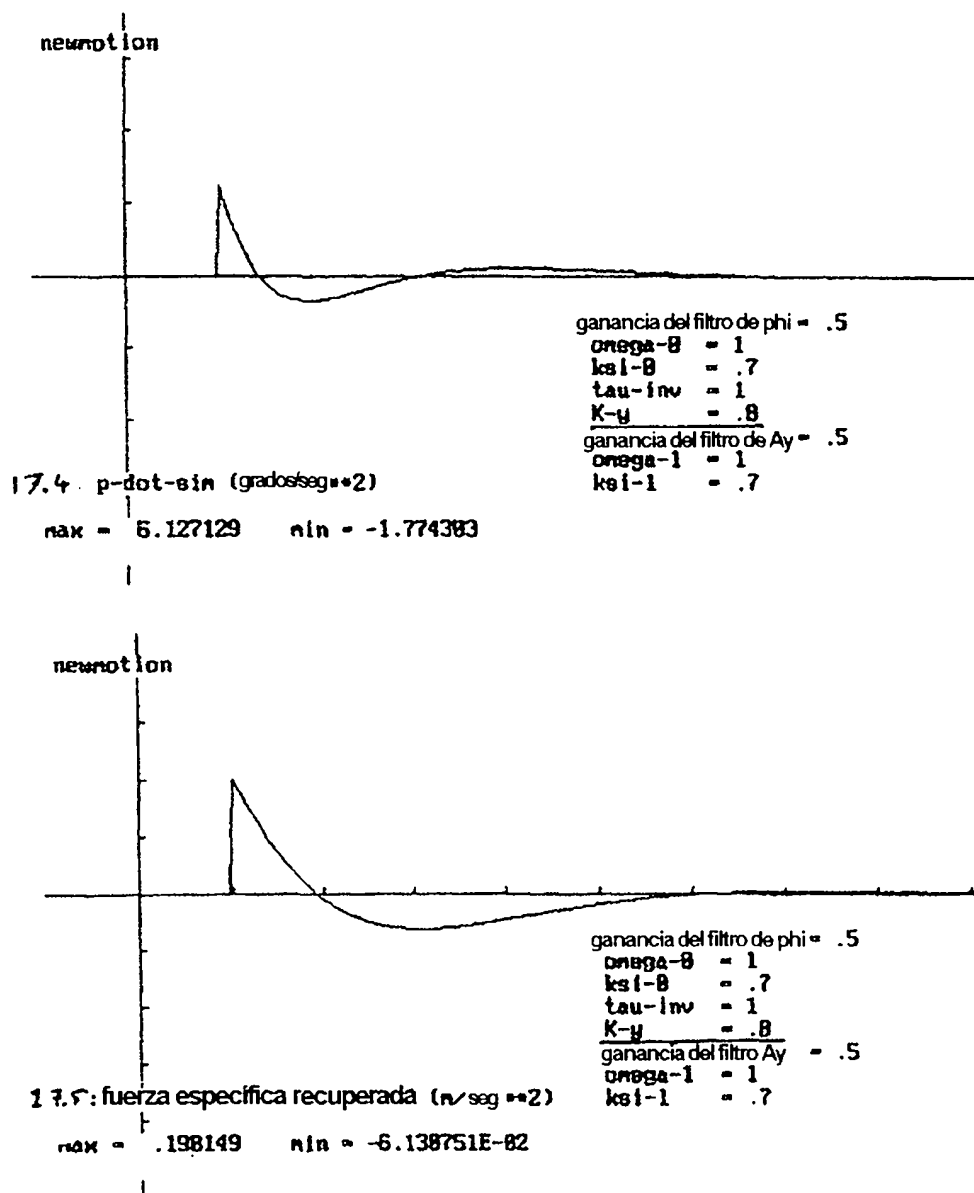


Fig. 17 – continuación

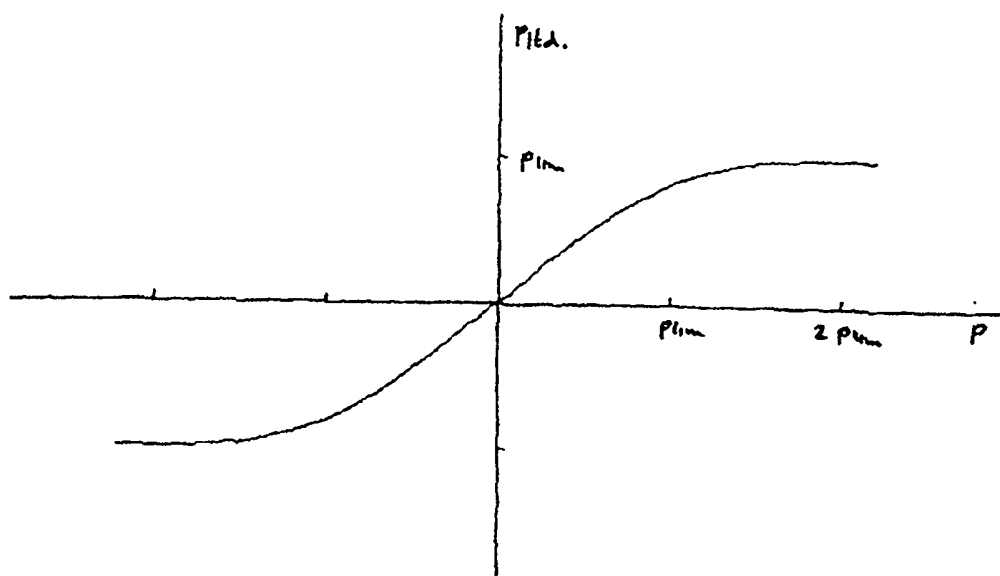


Fig. 18

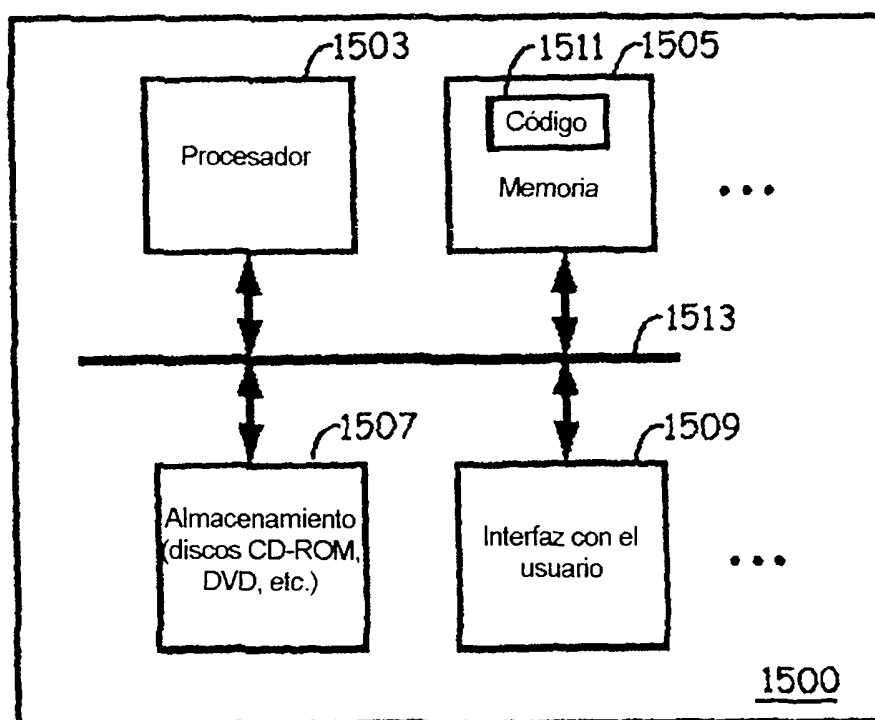


Fig. 19



Fig. 20