

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 969 875**

51 Int. Cl.:

B64C 13/00 (2006.01)

B64C 13/50 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.07.2020** **E 20382618 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.11.2023** **EP 3936429**

54 Título: **Sistema y método de control de un actuador para una superficie de control de vuelo de una aeronave**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.05.2024

73 Titular/es:

AIRBUS DEFENCE AND SPACE SAU (100.0%)
Avda. John Lennon s/n
28906 Getafe, ES

72 Inventor/es:

JIMÉNEZ OLAZÁBAL, ANDRÉS

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 969 875 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

Sistema y método de control de un actuador para una superficie de control de vuelo de una aeronave

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un sistema electrónico de control de vuelo basado en hardware electrónico simple. El sistema previsto es capaz de controlar un actuador de vuelo primario y/o secundario basado en hardware electrónico simple.

Antecedentes de la invención

10 Generalmente, las superficies de control de vuelo son operadas por dos o tres actuadores dispuestos a cada lado de la superficie de control de vuelo. Los actuadores son accionados por un controlador y comandados por el controlador a sustancialmente la misma posición para ajustar el posicionamiento de la superficie de control de vuelo.

Los métodos comúnmente utilizados para el control electrónico de los actuadores de vuelo se basan en hardware electrónico complejo (CEH) que incluye software colocado en un microprocesador o firmware colocado en una lógica programable, por ejemplo, una matriz de puertas programables en campo (FPGA).

15 Estas arquitecturas permiten la flexibilidad necesaria para cambiar los parámetros y optimizar el algoritmo de control. Requieren actividades de certificación con arreglo a normas para el desarrollo de software en el sector de la seguridad de las aeronaves, como RTCA-DO178 o RTCA-DO254. Dicho paso de certificación requiere un gran esfuerzo para las aplicaciones de capa de acceso a datos (DAL). Además, cualquier cambio realizado después de la certificación podría requerir, en la mayoría de los casos, realizar de nuevo todo el proceso de certificación.

20 Como se ha indicado anteriormente, las configuraciones clásicas de una superficie de control de vuelo están compuestas por dos o tres actuadores colocados físicamente en paralelo. De este modo, en caso de fallo de un actuador, sigue habiendo un actuador operativo para accionar la superficie de control de vuelo.

En configuraciones en las que ambos actuadores trabajan en modo activo-activo para reducir las fuerzas y la fatiga tanto de la superficie de control de vuelo como de los actuadores, el ordenador de la aeronave que controla los actuadores compartirá datos para equilibrar la fuerza realizada por cada actuador.

25 Este control de reparto de la carga comprende dos periodos diferentes. Un primer periodo está relacionado con el equilibrio en el movimiento estabilizado de la carga y el segundo periodo depende de los movimientos transitorios, es decir, los movimientos de arranque o de ruptura.

30 Normalmente, un microprocesador situado en el actuador realiza el equilibrio anterior. El primer periodo podría compensarse mediante hardware electrónico complejo (CEH), pero el segundo está limitado por el ciclo de funcionamiento del microprocesador (por debajo del rango de los cien hercios). Por lo tanto, las cargas transitorias en el reparto de cargas (rango de KHz) no podrían compensarse y dependen de la rigidez de los enlaces mecánicos de la estructura.

35 Es conocido el documento US2013026298A1 que divulga un sistema de actuación digital que incluye una pluralidad de actuadores; una pluralidad de sensores de posición acoplados a los actuadores, la pluralidad de sensores de posición que proporcionan señales de realimentación de velocidad proporcionales a una velocidad del actuador; una pluralidad de sensores de fuerza acoplados a los actuadores, la pluralidad de sensores de fuerza que proporcionan señales de presión delta; y un bucle de control de realimentación configurado para recibir las señales de realimentación de velocidad y las señales de presión delta y calcular una diferencia en las velocidades reales del actuador y sumar la diferencia con una diferencia calculada en las fuerzas del actuador para generar comandos de posicionamiento del actuador que igualan las fuerzas del actuador en una superficie de control.

Sumario de la invención

45 El objetivo de esta invención es un sistema y método de control de actuadores de vuelo basado en un hardware electrónico simple con un sistema y método de reparto de carga. Este diseño es capaz de controlar las posiciones de un actuador mediante un lazo de control e incluso compensar los dos periodos de reparto de carga de al menos dos actuadores situados en la misma superficie de control de vuelo primaria o secundaria.

La invención se basa en un controlador de actuador basado en hardware electrónico simple con reparto de carga. Este diseño es capaz de controlar el actuador basándose en dos funciones de control, una utilizada para posicionar el actuador y la segunda para compartir la carga entre actuadores situados en la misma superficie de control de vuelo.

Los medios de control son medios de control analógicos, de modo que se evitan los microprocesadores.

50 Como se ha indicado anteriormente, la aeronave comprende al menos un primer actuador y un segundo actuador en conexión con una superficie de control de vuelo para su movimiento. La aeronave comprende además un ordenador de control de vuelo primario y un ordenador de control de vuelo secundario. El ordenador de control de vuelo primario

está configurado para proporcionar al sistema de control una señal digital de una posición establecida del primer actuador. El ordenador de control de vuelo secundario está configurado para proporcionar al sistema de control una señal digital de una posición establecida del segundo actuador.

5 En esta aplicación, por posición establecida se entiende una posición objetivo del actuador, es decir, la posición que debe alcanzar el actuador.

El primer actuador comprende al menos un sensor analógico de posición y un sensor analógico de carga. El sensor analógico de posición está configurado para proporcionar una señal analógica de la posición del primer actuador. El sensor analógico de carga está configurado para proporcionar una señal analógica de la carga del primer actuador.

10 El segundo actuador comprende al menos un sensor analógico de posición y un sensor analógico de carga. El sensor analógico de posición está configurado para proporcionar una señal analógica de la posición del segundo actuador. El sensor analógico de carga está configurado para proporcionar una señal analógica de la presión del segundo actuador.

Más específicamente, en un ejemplo de realización, los sensores analógicos de carga son sensores de presión.

El sistema de control comprende:

- 15 - una primera unidad de control configurada para conectarse al primer actuador para su activación y movimiento y configurada para recibir del ordenador de control de vuelo primario la posición establecida del primer actuador,
- una segunda unidad de control conectada al segundo actuador para su activación y movimiento y configurada para recibir del ordenador secundario de control de vuelo la posición establecida del segundo actuador.

20 La primera unidad de control comprende:

- un primer convertidor digital a analógico configurado para convertir la señal digital de la posición establecida recibida del ordenador de control de vuelo primario en una señal analógica.
- 25 - un primer elemento de control analógico adaptado para recibir:
 - o la señal analógica de salida de la posición establecida del primer actuador desde el convertidor digital a analógico,
 - 30 o la señal analógica medida del sensor de posición con la posición del primer actuador, y
 - o las señales analógicas medidas de los sensores de carga con la carga del primer y del segundo actuador. De este modo, el sensor de carga de cada actuador está conectado a la otra unidad de control para enviar y recibir la carga de cada actuador.

Hay que tener en cuenta que esta información se comparte en modo analógico.

35 Con los datos anteriores, el primer elemento de control analógico está configurado para:

- calcular la desviación entre la señal analógica de la posición establecida del primer actuador y la señal analógica medida del sensor de posición,
- 40 ▪ calcular el reparto de carga entre el primer y el segundo actuador y la desviación del primer actuador con respecto a un objetivo de reparto de carga, y
- proporcionar al primer actuador una señal de su desviación con respecto a la posición establecida del primer actuador corregida por su desviación con respecto al objetivo de reparto de carga.

45 De este modo, la primera unidad de control es capaz de proporcionar al primer actuador una señal que comprende una desviación corregida o un error corregido de la posición del actuador con respecto a la posición establecida proporcionada por el ordenador de control de vuelo. La desviación o error con respecto a la posición establecida se corrige mediante la desviación del actuador con respecto a un objetivo de reparto de carga. El objetivo de reparto de carga es un parámetro que establece cómo debe repartirse la carga entre los actuadores. En un ejemplo de realización,
50 la carga se equilibra entre cada actuador, de forma que cada actuador soporta el 50% de la carga. La unidad de control comprende el valor del objetivo de reparto de carga, que es un valor fijo aunque puede modificarse.

Como resultado, la desviación o el error de la posición del actuador con respecto a la posición establecida se corrige, normalmente ligeramente, para cumplir los requisitos de reparto de la carga.

Igualmente, la segunda unidad de control comprende:

- un segundo convertidor digital a analógico configurado para convertir la señal digital de la posición establecida del segundo actuador recibida del ordenador de control secundario en una señal analógica,
- 5 - un segundo elemento de control analógico adaptado para recibir:
 - o la señal analógica de salida de la posición establecida del segundo actuador desde el convertidor digital a analógico,
 - 10 o la señal analógica medida del sensor de posición del segundo actuador, y
 - o la señal analógica medida de los sensores de carga del primer y del segundo actuador,
- el segundo elemento de control analógico está configurado para:
 - 15 ▪ calcular la desviación entre la señal analógica de la posición establecida del segundo actuador y la señal analógica medida del sensor de posición,
 - 20 ▪ calcular el reparto de carga entre el primer y el segundo actuador y la desviación del segundo actuador con respecto al objetivo de reparto de carga, y
 - 25 ▪ proporcionar al segundo actuador una señal de su desviación con respecto a la posición establecida del segundo actuador corregida por su desviación con respecto al objetivo de reparto de carga.

25 Así, cada unidad de control está conectada a un actuador. La unidad de control es capaz de activar el actuador hidráulica y eléctricamente. Una vez que el actuador está activado y listo para ser controlado, el comando que proviene del ordenador de control de vuelo (FCC) se convierte en una señal analógica.

30 Esta señal de comando se utiliza en el lazo de control de posición del controlador analógico para calcular el error de posición actual utilizando la posición real actual del actuador. Una desviación o error de la posición establecida se utiliza entonces en el controlador definido para la aplicación. En un ejemplo de realización, se proporciona un comando al controlador, que es el error o desviación en la posición multiplicado por una constante.

Como se ha indicado anteriormente, el sistema de control también calcula y ajusta o corrige el reparto o distribución de la carga entre el primer y el segundo actuador de acuerdo con el objetivo de reparto de la carga.

35 La principal ventaja de este sistema es que el controlador se implementa en hardware electrónico simple (SEH). Por lo tanto, no hay ninguna limitación en términos de ciclo de funcionamiento y el bucle de control y el control de carga compartida entre los actuadores sólo depende del ancho de banda de los componentes analógicos utilizados que son varios órdenes de magnitud superior a la gama de KHz solicitada.

40 Además, no hay actividades relacionadas con la certificación. Cualquier cambio necesario después de la certificación no requiere un proceso de certificación basado en RTCA-DO178 o RTCA-DO254. Otra ventaja de este sistema es la reducción de los plazos de desarrollo del controlador y también la reducción de costes, ya que no se solicitan actividades para la certificación.

La unidad de control está configurada para comunicarse con el ordenador de control de vuelo primario y el ordenador de control de vuelo secundario a través de la comunicación digital, A429-R1/R2, de la aeronave.

45 El ordenador de control de la aeronave recibe datos relacionados con la altura de la aeronave, la velocidad, las entradas del piloto, el objetivo de reparto de carga entre los actuadores y proporciona una salida con la posición del actuador de acuerdo con dichos datos. El ordenador de la aeronave comprende un control y un monitor.

La comunicación entre el ordenador de la aeronave y la unidad de control es una comunicación digital. Pero, según la invención, el control del actuador se realiza en modo analógico.

50 Permite disponer de un sistema electrónico sencillo situado en el actuador, mientras que los medios informáticos se encuentran en la aeronave, concretamente en el ordenador de control de vuelo de la aeronave.

55 En un ejemplo de realización, el elemento de control analógico puede comprender un controlador del tipo de controlador proporcional, controlador P. El controlador ajusta la posición del actuador restando la señal medida de la posición establecida, obteniendo así una señal de error o desviación, que determina en cada momento la diferencia entre el valor deseado, posición establecida, y el valor medido. El elemento de control también tiene en cuenta el valor del reparto de la carga.

También es objeto de la presente invención una aeronave y un método de control según lo descrito anteriormente.

Descripción de las figuras

Para completar la descripción y facilitar la comprensión de la invención, se proporciona un juego de dibujos. Dichos dibujos forman parte integrante de la descripción e ilustran ejemplos de realización preferidos de la invención. Los dibujos comprenden las siguientes figuras.

- 5 La figura 1 muestra un diagrama de bloques de un ejemplo de realización de una unidad de control, un actuador, un grupo de sensores y un ordenador de control de vuelo.
- La figura 2 muestra un diagrama de bloques de un ejemplo de realización de dos unidades de control, dos actuadores, dos ordenadores de control de vuelo y una superficie de control de vuelo.
- 10 La figura 3 muestra un ejemplo de realización del circuito entre la conexión de los ordenadores de control de vuelo y el convertidor digital a analógico.
- La figura 4 muestra un gráfico de la evolución temporal de la fuerza en un periodo transitorio y en un periodo estabilizado.
- La figura 5 muestra una vista en planta de una aeronave y sus superficies de control de vuelo.

Descripción detallada de la invención

- 15 Las figuras 1 y 2 muestran un ejemplo de realización del sistema de control de un actuador para una superficie de control de vuelo de una aeronave.

La aeronave comprende un primer actuador (1) y un segundo actuador (2) en conexión con una superficie de control de vuelo (10) para su movimiento. La aeronave comprende además un ordenador de control de vuelo primario (5) y un ordenador de control de vuelo secundario (6). El ordenador de control de vuelo primario (5) está configurado para proporcionar al sistema de control una señal digital de posición establecida del primer actuador (1). El ordenador de control de vuelo secundario (6) está configurado para proporcionar al sistema de control una señal digital de posición establecida del segundo actuador (2).

- 20 - El primer actuador (1) comprende un sensor analógico de posición (7.1) configurado para proporcionar una señal analógica de la posición del primer actuador (1). También comprende un sensor analógico de carga (7.2) configurado para proporcionar una señal analógica de la carga del primer actuador (1).
- 25 - El segundo actuador (2) comprende un primer y un segundo sensor analógico (7.1, 7.2) como los descritos anteriormente. El sensor analógico de posición (7.1) está configurado para proporcionar una señal analógica de la posición del segundo actuador (2). El sensor analógico de carga (7.2) está configurado para proporcionar una señal analógica de la carga del segundo actuador (2).
- 30

En el ejemplo de realización mostrado, existen los siguientes sensores analógicos:

- RAM, sensor de posición (7.1) que proporciona la posición medida del actuador (1, 2). El ejemplo de realización mostrado comprende dos sensores de posición (7.1) para redundancia.
- DELTAP, sensor de carga (7.2) que proporciona la presión del actuador (1, 2) para medir la carga.
- 35 • MODO (7.3) que indica si el actuador (1, 2) es activo o pasivo.
- SERVO (7.4) que proporciona el estado de la servoválvula del actuador (1, 2).

Más concretamente, los actuadores (1, 2) comprenden servoválvulas que comprenden una servoválvula y un solenoide.

El sistema de control mostrado comprende:

- 40 - La primera unidad de control (3) conectada al primer actuador (1) para su activación y movimiento y configurada para recibir del ordenador primario de control de vuelo (5) la posición establecida del primer actuador (1).
- 45 - La segunda unidad de control (4) conectada al segundo actuador (2) para su activación y movimiento y configurada para recibir del ordenador secundario de control de vuelo (6) la posición establecida del segundo actuador (2).

La primera unidad de control (3) mostrada comprende:

- un primer convertidor digital a analógico (8) configurado para comunicarse con el ordenador de control de vuelo primario (5), de forma que la señal digital de posición establecida del primer actuador (1) se

convierta en una señal analógica. Opcionalmente, pueden implementarse varios convertidores digital a analógico (8) DAC, de tal forma que se obtenga un valor medio.

- 5 - un primer elemento de control analógico (20) adaptado para recibir:
 - o la señal analógica de salida de la posición establecida del primer actuador (1) del convertidor digital a analógico (8),
 - o la señal analógica medida del sensor de posición (7.1) del primer actuador (1), y
 - 10 o las señales analógicas medidas de los sensores de carga (7.1, 7.2) del primer y del segundo actuador (1, 2).

El primer elemento de control analógico (20) está configurado para:

- 15
 - calcular la desviación entre la señal analógica de la posición establecida del primer actuador (1) y la señal analógica medida del sensor de posición (7.1),
 - calcular el reparto de carga entre el primer y el segundo actuador (1, 2) y la desviación del primer actuador (1) con respecto a un objetivo de reparto de carga, y
 - 20 ▪ proporcionar al primer actuador (1) una señal de su desviación con respecto a la posición establecida del primer actuador (1) corregida por su desviación con respecto al objetivo de reparto de carga.

Del mismo modo, en un ejemplo de realización una segunda unidad de control (4) comprendería:

- 25 - un segundo convertidor digital a analógico (8) configurado para convertir la señal digital de la posición establecida del segundo actuador (2) recibida del ordenador de control secundario (6) en una señal analógica
- un segundo elemento de control analógico (20) adaptado para recibir:
 - 30 o la señal analógica de salida de la posición establecida del segundo actuador (2) del convertidor digital a analógico (8),
 - o la señal analógica medida del sensor de posición (7.1) del segundo actuador (2), y
 - 35 o la señal analógica medida de los sensores de carga (7.2) del primer y del segundo actuador (1, 2),
- el segundo elemento de control analógico (20) está configurado para:
 - 40 ▪ calcular la desviación entre la señal analógica de la posición establecida del segundo actuador (2) y la señal analógica medida del sensor de posición (7.1),
 - calcular el reparto de carga entre el primer y el segundo actuador (1, 2) y la desviación del segundo actuador (2) con respecto al objetivo de reparto de carga, y
 - 45 ▪ proporcionar al segundo actuador (2) una señal de su desviación con respecto a la posición establecida del segundo actuador (2) corregida por su desviación con respecto al objetivo de reparto de carga.

50 En el ejemplo de realización mostrado, la primera unidad de control (3) está configurada adicionalmente para recibir la posición establecida del segundo actuador (2) y la segunda unidad de control (4) está configurada para recibir la posición establecida del primer actuador (1) a efectos de redundancia.

En el ejemplo de realización, los elementos de control analógicos (20) comprenden un primer y un segundo elemento de control de carga (16.1, 17.1, 16.2, 17.2). En el ejemplo de realización mostrado, los elementos de control de carga comprenden un filtro de paso (17.1, 17.2) y un controlador (16.1, 16.2).

55 El primer elemento de control de carga (16.1, 17.2) está adaptado para calcular el reparto de carga entre el primer y el segundo actuador (1, 2) y la desviación del actuador (1, 2) con respecto al objetivo de reparto de carga en un período transitorio de la carga. El segundo elemento de control de carga (16.2, 17.2) está adaptado para calcular el reparto de carga entre el primer y el segundo actuador (1, 2) y la desviación del actuador (1, 2) con respecto al objetivo de reparto de carga en un período estabilizado de la carga.

La figura 4 muestra la evolución en el tiempo de la fuerza en un período transitorio y en un período estabilizado. La

invención también es capaz de controlar la carga en ambos periodos de la misma.

En concreto, los elementos de control analógicos (20) están configurados para calcular el reparto de carga entre el primer y el segundo actuador (1, 2) restando la señal analógica medida del sensor de carga (7.2) del otro actuador (2) de la señal analógica medida del sensor de carga (7.2) de su actuador (1).

5 Los elementos de control analógicos (20) de la primera unidad de control (3) están configurados para calcular el reparto de carga entre el primer y el segundo actuador (1, 2) restando la señal analógica medida del sensor de carga (7.2) del segundo actuador (2) de la señal analógica medida del sensor de carga (7.2) del primer actuador (1). Los elementos de control analógicos (20) de la segunda unidad de control (4) están configurados para calcular el reparto de carga entre el primer y el segundo actuador (1, 2) restando la señal analógica medida del sensor de carga (7.2) del primer actuador (1) de la señal analógica medida del sensor de carga (7.2) del segundo actuador (2).

Más concretamente, el elemento de control analógico (20) descrito en la figura 1 comprende un controlador analógico (9) y un elemento de control de carga analógico (16.1, 16.2, 17.1, 17.2).

El controlador analógico (9), que puede ser un controlador P (9), está adaptado para recibir:

- 15 o la señal analógica de salida de la posición establecida del actuador (1, 2) del convertidor digital a analógico (8),
- o la señal analógica medida del sensor de posición (7.1), y
- 20 o la desviación del actuador (1, 2) con respecto al objetivo de reparto de carga del elemento analógico de control de carga (16.1, 16.2, 17.1, 17.2).

Así, el controlador analógico (9) está configurado para:

- 25 ▪ calcular la desviación entre la señal analógica de la posición establecida del actuador (1, 2) y la señal analógica medida del sensor de posición (7.1, 7.2),
- corregir dicha desviación con la desviación del actuador (1, 2) respecto al objetivo de reparto de carga, y
- proporcionar al actuador (1, 2) una señal de la desviación de la posición establecida del actuador (1, 2) corregida por la desviación con el objetivo de reparto de carga.

30 A su vez, el elemento analógico de control de carga (16.1, 16.2, 17.1, 17.2) de la figura 1 es:

- adaptado para recibir las señales analógicas medidas de los sensores de carga (7.2) del primer y del segundo actuador (1, 2),
- 35 - configurado para calcular el reparto de carga entre el primer y el segundo actuador (1, 2) y la desviación del actuador (1, 2) con respecto al objetivo de reparto de carga, y
- configurado para enviar dicha desviación del actuador (1, 2) con respecto al objetivo de reparto de carga al controlador analógico (9).

40 Como se ha indicado anteriormente, los elementos analógicos de control de carga (16.1, 16.2, 17.1, 17.2) comprenden un primer y un segundo controlador de carga (16.1, 16.2). El primer controlador de carga (16.1) está adaptado para controlar la carga en el período transitorio de la carga y el segundo controlador de carga (16.2) está adaptado para controlar la carga en el período estabilizado de la carga.

45 Más concretamente, los elementos analógicos de control de carga (16.1, 16.2, 17.1, 17.2) comprenden un filtro de paso bajo (17.1) adaptado para alimentar el primer controlador de carga (16.1) y un filtro de paso alto (17.2) adaptado para alimentar el segundo controlador de carga (16.2). El primer y segundo filtro de paso (17.1, 17.2) están adaptados para recibir las señales analógicas medidas de los sensores de carga (7.2) del primer y del segundo actuador (1, 2).

Por lo tanto, las señales medidas están instrumentadas y adaptadas para calcular el primer período de reparto de la carga, es decir, el valor diferencial en el movimiento estabilizado, y también para el segundo período de reparto de la carga, es decir, los movimientos transitorios.

50 Como la respuesta de ambos periodos es diferente, se divulgan diferentes controladores. Por un lado, el periodo de movimiento estabilizado significa el valor diferencial de carga entre actuadores en el rango de baja frecuencia y típicamente esta diferencia se utiliza para ayudar a los actuadores (1, 2) a trabajar en las mismas condiciones de carga, idealmente 50%-50% de reparto de carga. Por otro lado, el segundo periodo basado en transitorios significa altos picos de carga en los actuadores (1, 2) en el rango de alta frecuencia.

Esta igualación es un parámetro clave en términos de fatiga de los actuadores (1, 2). Por lo tanto, el control de ambos periodos es diferente. El movimiento estabilizado requiere un controlador de baja ganancia proporcional, incluso con un componente integral, para igualar el reparto de la carga en el tiempo, mientras que el periodo transitorio requiere un controlador de alta ganancia proporcional durante un corto periodo de tiempo.

- 5 Por ello, los controladores (16.1, 16.2) se diseñan con objetivos de control diferentes, para permitir una corrección independiente de ambos términos.

En la figura 1, se incluyen los siguientes controladores (16.1, 16.2) y filtros (17.1, 17.2):

LPF: Filtro paso bajo, para mantener la parte estabilizada en régimen permanente, la frecuencia de corte puede ser baja, del orden de segundos.

- 10 HPF: Filtro de paso alto, para mantener los transitorios rápidos, la frecuencia puede ser alta, del orden de KHz.

PI_LPF: Controlador de ganancia proporcional-integral para LPF. El objetivo es buscar el error cero en estado estacionario.

P_HPFF: Controlador de ganancia proporcional para el HPF. El objetivo es compensar rápidamente los efectos.

- 15 Como se ha indicado anteriormente, el control de carga compartida se implementa directamente en control analógico por las unidades de control (3, 4) con el fin de maximizar el ancho de banda de este control e informar al ordenador de control de vuelo primario (5) y al ordenador de control de vuelo secundario (6) para su validación.

- 20 Como se muestra en el ejemplo de realización de la figura 1, las unidades de control (3, 4) comprenden un registro de desplazamiento (11) configurado para comunicarse con los ordenadores de control de vuelo (5, 6) para recibir la posición establecida de los actuadores (1, 2) y con el convertidor analógico (8, 9) para enviar la señal de salida del registro de desplazamiento (11).

La señal proporcionada también comprende datos para su comprobación, concretamente un identificador de mensaje. Por ello, la unidad de control (3, 4) comprende una comprobación de etiquetas. La validación de los comandos se realiza internamente en la unidad de control (3, 4) para activar el control del actuador (1, 2).

- 25 El registro de desplazamiento (11) es una cascada de flip-flop, que comparten el mismo reloj, en la que la salida de cada flip-flop se conecta a la entrada de "datos" del siguiente flip-flop de la cadena, dando lugar a un circuito que desplaza en una posición la "matriz de bits" almacenada en él, "desplazando hacia dentro" los datos presentes en su entrada y "desplazando hacia fuera" el último bit de la matriz, en cada transición de la entrada de reloj.

- 30 Se utiliza para guardar cada bit de la transmisión digital en un lugar, de forma que se pueda tener la información guardada durante un ciclo hasta que llegue el siguiente dato. Así, tenemos la etiqueta, identificador del mensaje, separada de los datos.

Por último, se consolidan ambos comandos y se validan comprobando que la diferencia de las señales proporcionadas por ambos comandos está por debajo de un valor establecido.

- 35 En los ejemplos de realización mostrados, las unidades de control (3, 4) comprenden un primer registro de desplazamiento (11.1) y un segundo registro de desplazamiento (11.2). El primer registro de desplazamiento (11.1) está configurado para comunicarse con un ordenador de control primario (5.1) y la segunda resistencia de desplazamiento configurada para comunicarse con un ordenador de control secundario (5.2). Así, las unidades de control (3, 4) comprenden dos resistencias de cambio de entrada (11.1, 11.2) para redundancia y fallo único.

- 40 Por razones de seguridad, el ordenador de control de vuelo (5, 6) tiene una comunicación digital dúplex, de modo que existe un primer (5.1, 6.1) y un segundo (5.2, 6.2) ordenador de control. También permite consolidar y validar los datos internos enviados desde la unidad de control (3, 4).

Los ordenadores de control de vuelo (5, 6) constan de dos hilos por los que circulan los mismos datos, pero la información está invertida. De esta forma, si uno de los hilos falla el otro sigue operativo. Se trata de un sistema redundante que mejora la seguridad del sistema.

- 45 La figura 2 muestra que los ordenadores de control de vuelo primario y secundario de la aeronave (5, 6) pueden comandar ambas unidades de control (3, 4) aunque la otra funcione mal.

La unidad de control (3, 4) comprende finalmente un filtro (15) para filtrar el rechazo de banda modal propio.

- 50 La unidad de control (3, 4) comprende un convertidor analógico a digital (12) configurado para recibir la señal medida de los sensores analógicos (7.1, 7.2) y con los ordenadores de vuelo (5, 6). Más específicamente, el ejemplo de realización mostrado comprende dos convertidores analógico a digital (12) para redundancia. Los datos se envían por dos buses para evitar que el simple fallo de un componente provoque un fallo de comunicación.

En el ejemplo de realización mostrado, la unidad de control (3, 4) comprende una unidad de demodulación (13) situada entre los sensores analógicos (7.1, 7.2) y el convertidor analógico a digital (12).

5 La unidad de control (3, 4) comprende un interruptor (14) en conexión con el actuador (1, 2) y comandado por señales discretas procedentes del ordenador de control de vuelo (5, 6). En caso de fallo o mal funcionamiento, se proporcionan tres señales discretas para retirar el control y la activación del actuador (1, 2). De este modo, un actuador (1, 2) o unidad de control (3, 4) averiados podrían ser pasados al modo suspensión directamente por el ordenador de control de vuelo (5, 6). Si el ordenador de control de vuelo de la aeronave (5, 6) detecta cualquier avería en el sistema, acciona el interruptor (14) desactivando la servoválvula y el solenoide.

10 La monitorización podría ser realizada por el ordenador de control de vuelo primario (5) y el ordenador de control de vuelo secundario (6) en paralelo para validar los comandos de la unidad de control (3, 4) durante la operación.

La figura 5 muestra una aeronave que comprende:

- una superficie de control de vuelo (10),
- 15 - un primer actuador (1) y un segundo actuador (2) en conexión con la superficie de control de vuelo (10) para su movimiento,
- el primer actuador (1) comprendiendo un sensor analógico de posición (7.1) y un sensor analógico de carga (7.2), el sensor analógico de posición (7.1) configurado para proporcionar una señal analógica de la posición del primer actuador (1) y el sensor analógico de carga (7.2) configurado para proporcionar una señal analógica de la carga del primer actuador (1),
- 20 - el segundo actuador (2) comprendiendo un sensor analógico de posición (7.1) y un sensor analógico de carga (7.2), el sensor analógico de posición (7.1) configurado para proporcionar una señal analógica de la posición del segundo actuador (2) y el sensor analógico de carga (7.2) configurado para proporcionar una señal analógica de la carga del segundo actuador (2), y
- 25 - un ordenador de control de vuelo primario (5) y un ordenador de control de vuelo secundario (6), el ordenador de control de vuelo primario (5) configurado para proporcionar una señal digital de una posición establecida del primer actuador (1) y el ordenador de control de vuelo secundario (6) configurado para proporcionar una señal digital de una posición establecida del segundo actuador (2),
- 30 - la aeronave comprendiendo un sistema de control según una cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

Finalmente, es también objeto de la presente invención un método de control para un actuador para una superficie de control de vuelo de una aeronave que comprende los siguientes pasos:

- 35 - proporcionar una primera unidad de control (3) conectada al primer actuador (1) para su activación y movimiento,
- la primera unidad de control (3) recibiendo del ordenador de control de vuelo primario (5) la posición establecida del primer actuador (1),
- 40 - proporcionar una segunda unidad de control (4) conectada al segundo actuador (2) para su activación y movimiento,
- la segunda unidad de control (4) recibiendo del ordenador secundario de control de vuelo (6) la posición establecida del segundo actuador (2),
- 45 - convertir la señal digital de la posición establecida del primer actuador (1) en una señal analógica mediante un primer convertidor digital a analógico (8) situado en la primera unidad de control (3),
- 50 - convertir la señal digital de la posición establecida del segundo actuador (2) en una señal analógica mediante un segundo convertidor digital a analógico (8) situado en la segunda unidad de control (4),
- proporcionar a un primer elemento de control analógico (20) situado en la primera unidad de control (3):
- 55
 - o la señal analógica de salida de la posición establecida del primer actuador (1) del convertidor digital a analógico (8),
 - o la señal analógica medida del sensor de posición (7.1) del primer actuador (1), y
 - 60 o las señales analógicas medidas de los sensores de carga (7.2) del primer y del segundo

actuador (1, 2),

- proporcionar a un segundo elemento de control analógico (20) situado en la segunda unidad de control (4):
 - 5 o la señal analógica de salida de la posición establecida del segundo actuador (2) del convertidor digital a analógico (8),
 - o la señal analógica medida del sensor de posición (7.1) del segundo actuador (2), y
 - 10 o la señal analógica medida de los sensores de carga (7.2) del primer y del segundo actuador (1, 2),
- calcular, en el primer elemento de control analógico (20) de la primera unidad de control (3), la desviación entre la señal analógica de la posición establecida del primer actuador (1) y la señal analógica medida del sensor de posición (7.1),
15
- calcular, en el primer elemento de control analógico (20) de la primera unidad de control (3), el reparto de carga entre el primer y el segundo actuador (1, 2) y la desviación del primer actuador (1) con respecto a un objetivo de reparto de carga,
- 20 - proporcionar, en el primer elemento de control analógico (20) de la primera unidad de control (3), al primer actuador (1) una señal de su desviación con respecto a la posición establecida del primer actuador (1) corregida por su desviación con respecto al objetivo de reparto de carga,
- 25 - calcular, en el segundo elemento de control analógico (20) de la segunda unidad de control (4), la desviación entre la señal analógica de la posición establecida del segundo actuador (2) y la señal analógica medida del sensor de posición (7.1),
- calcular, en el segundo elemento de control analógico (20) de la segunda unidad de control (4), el reparto de carga entre el primer y el segundo actuador (1, 2) y la desviación del segundo actuador (2) con respecto a un objetivo de reparto de carga,
30
- proporcionando, en el segundo elemento de control analógico (20) de la segunda unidad de control (4), al segundo actuador (2) una señal de su desviación con respecto a la posición establecida del segundo actuador (2) corregida por su desviación con respecto al objetivo de reparto de carga.
35

REIVINDICACIONES

1.- Sistema de un actuador de una superficie de control de vuelo de una aeronave, que comprende un primer actuador (1) y un segundo actuador (2) y un sistema de control para el actuador de la superficie de control de vuelo de una aeronave, el primer actuador (1) y el segundo actuador (2) conectables con la superficie de control de vuelo (10) para su movimiento, comprendiendo además la aeronave un ordenador de control de vuelo primario (5) y un ordenador de control de vuelo secundario (6), estando configurado el sistema de control para recibir del ordenador de control de vuelo primario (5) una señal digital de una posición establecida del primer actuador (1) y del ordenador de control de vuelo secundario (6) una señal digital de una posición establecida del segundo actuador (2), y

- el primer actuador (1) comprende un sensor analógico de posición (7.1) configurado para proporcionar una señal analógica de la posición del primer actuador (1) y un sensor analógico de carga (7.2) configurado para proporcionar una señal analógica de la carga del primer actuador (1),
- el segundo actuador (2) comprende un sensor analógico de posición (7.1) configurado para proporcionar una señal analógica de la posición del segundo actuador (2) y un sensor analógico de carga (7.2) configurado para proporcionar una señal analógica de la carga del segundo actuador (2),

el sistema de control caracterizado por que comprende:

- una primera unidad de control (3) conectada al primer actuador (1) para su activación y movimiento y configurada para recibir la posición establecida del primer actuador (1) desde el ordenador de control de vuelo primario (5),
- una segunda unidad de control (4) conectada al segundo actuador (2) para su activación y movimiento y configurada para recibir la posición establecida del segundo actuador (2) desde el ordenador secundario de control de vuelo (6),

la primera unidad de control (3) comprendiendo:

- un primer convertidor digital a analógico (8) configurado para convertir la señal digital de la posición establecida del primer actuador (1) recibida del ordenador de control de vuelo primario (5) en una señal analógica,
- un primer elemento de control analógico (20) adaptado para recibir:
 - o la señal analógica de salida de la posición establecida del primer actuador (1) del primer convertidor digital a analógico (8),
 - o la señal analógica medida del sensor de posición (7.1) del primer actuador (1), y
 - o las señales analógicas medidas de los sensores de carga (7.2) del primer y del segundo actuador (1, 2),

el primer elemento de control analógico (20) está configurado para:

- calcular la desviación entre la señal analógica de la posición establecida del primer actuador (1) y la señal analógica medida del sensor de posición (7.1),
- calcular un reparto de carga entre el primer y el segundo actuador (1, 2) y la desviación del primer actuador (1) con respecto a un objetivo de reparto de carga, y
- proporcionar al primer actuador (1) una señal de su desviación con respecto a la posición establecida del primer actuador (1) corregida por su desviación con respecto al objetivo de reparto de carga,

la segunda unidad de control (4) comprendiendo:

- un segundo convertidor digital a analógico (8) configurado para convertir la señal digital de la posición establecida del segundo actuador (2) recibida del ordenador de control secundario (6) en una señal analógica,
- un segundo elemento de control analógico (20) adaptado para recibir:
 - o la señal analógica de salida de la posición establecida del segundo actuador (2) del segundo convertidor digital a analógico (8),

- o la señal analógica medida del sensor de posición (7.1) del segundo actuador (2), y
- o la señal analógica medida de los sensores de carga (7.2) del primer y del segundo actuador (1, 2),

5 - el segundo elemento de control analógico (20) está configurado para:

- calcular la desviación entre la señal analógica de la posición establecida del segundo actuador (2) y la señal analógica medida del sensor de posición (7.1),
- 10 ▪ calcular el reparto de carga entre el primer y el segundo actuador (1, 2) y la desviación del segundo actuador (2) con respecto al objetivo de reparto de carga, y
- 15 ▪ proporcionar al segundo actuador (2) una señal de su desviación con respecto a la posición establecida del segundo actuador (2) corregida por su desviación con respecto al objetivo de reparto de carga.

2.- Sistema de un actuador de una superficie de control de vuelo de una aeronave, según reivindicación 1, en el que los elementos de control analógicos (20) comprenden un primer y un segundo elemento de control de carga (16.1, 17.1, 16.2, 17.2), el primer elemento de control de carga (16.1, 17.2) adaptado para calcular el reparto de carga entre el primer y el segundo actuador (1, 2) y la desviación del actuador (1, 2) con respecto al objetivo de reparto de carga en un periodo transitorio de la carga y el segundo elemento de control de carga (16.2, 17.2) está adaptado para calcular el reparto de carga entre el primer y el segundo actuador (1, 2) y la desviación del actuador (1, 2) con respecto al objetivo de reparto de carga en un periodo estabilizado de la carga.

3.- Sistema de un actuador de una superficie de control de vuelo de una aeronave, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los elementos de control analógicos (20) están configurados para calcular el reparto de carga entre el primer y el segundo actuador (1, 2) restando la señal analógica medida del sensor de carga (7.2) del otro actuador (2) de la señal analógica medida del sensor de carga (7.2) de su actuador (1).

4.- Sistema de un actuador de una superficie de control de vuelo de una aeronave, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el elemento de control analógico (20) comprende un controlador analógico (9) y un elemento de control de carga analógico (16.1, 16.2, 17.1, 17.2), el elemento de control de carga analógico (16.1, 16.2, 17.1, 17.2) es:

- adaptado para recibir las señales analógicas medidas de los sensores de carga (7.2) del primer y del segundo actuador (1, 2),
- configurado para calcular el reparto de carga entre el primer y el segundo actuador (1, 2) y la desviación del actuador (1, 2) con respecto al objetivo de reparto de carga, y
- configurado para enviar la desviación del actuador (1, 2) con respecto al objetivo de reparto de carga al controlador analógico (9), y

el controlador analógico (9) adaptado para recibir:

- o la señal analógica de salida de la posición establecida del actuador (1, 2) del convertidor digital a analógico (8),
- o la señal analógica medida del sensor de posición (7.1), y
- o la desviación del actuador (1, 2) con respecto al objetivo de reparto de carga del elemento analógico de control de carga (16.1, 16.2, 17.1, 17.2),

el controlador analógico (9) está configurado para:

- calcular la desviación entre la señal analógica de la posición establecida del actuador (1, 2) y la señal analógica medida del sensor de posición (7.1, 7.2),
- corregir dicha desviación con la desviación del actuador (1, 2) respecto al objetivo de reparto de carga, y
- proporcionar al actuador (1, 2) una señal de la desviación de la posición establecida del actuador (1, 2) corregida por la desviación con el objetivo de reparto de carga.

5.- Sistema de un actuador de una superficie de control de vuelo de una aeronave, según la reivindicación 4, en el que los elementos analógicos de control de carga (16.1, 16.2, 17.1, 17.2) comprenden un primer y un segundo controlador de carga (16.1, 16.2), el primer controlador de carga (16.1) adaptado para controlar la carga en el periodo transitorio

de la carga y el segundo controlador de carga (16.2) adaptado para controlar la carga en el periodo estabilizado de la carga.

5 6.- Sistema de un actuador de una superficie de control de vuelo de una aeronave, según la reivindicación 5, en el que los elementos analógicos de control de carga (16.1, 16.2, 17.1, 17.2) comprenden un filtro de paso bajo (17.1) adaptado para alimentar el primer controlador de carga (16.1) y un filtro de paso alto (17.2) adaptado para alimentar el segundo controlador de carga (16.2), los filtros de paso primero y segundo (17.1, 17.2) adaptados para recibir las señales analógicas medidas de los sensores de carga (7.2) del primer y del segundo actuador (1, 2).

10 7.- Sistema de un actuador de una superficie de control de vuelo de una aeronave, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la primera y la segunda unidad de control (3, 4) comprenden un registro de desplazamiento (11) configurado para comunicarse con los ordenadores de control de vuelo (5, 6) para recibir la señal digital de posición establecida de los actuadores (1, 2) y con el convertidor analógico (8, 9) para enviar la señal de salida del registro de desplazamiento (11).

15 8.- Sistema de un actuador de una superficie de control de vuelo de una aeronave, según la reivindicación 7, en el que la primera y la segunda unidad de control (3, 4) comprenden un primer registro de turnos (11.1) y un segundo registro de turnos (11.2), el primer registro de turnos (11.1) configurado para comunicarse con un primer ordenador de control de vuelo (5.1) y el segundo registro de turnos configurado para comunicarse con un segundo ordenador de control de vuelo (5.2).

20 9.- Sistema de un actuador de una superficie de control de vuelo de una aeronave, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la unidad de control (3, 4) comprende un convertidor analógico-digital (12) configurado para recibir la señal medida de los sensores analógicos (7.1, 7.2) y configurado para comunicarse con los ordenadores de control de vuelo (5, 6).

10.- Sistema de un actuador de una superficie de control de vuelo de una aeronave, según la reivindicación 9, en el que la unidad de control (3, 4) comprende una unidad de demodulación (13) situada entre los sensores analógicos (7.1, 7.2) y el convertidor analógico-digital (12).

25 11.- Sistema de un actuador de una superficie de control de vuelo de una aeronave, según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la primera unidad de control (3) está configurada adicionalmente para recibir la posición establecida del segundo actuador (2) y la segunda unidad de control (4) está configurada para recibir la posición establecida del primer actuador (1).

12.- Aeronave que comprende:

- 30 - una superficie de control de vuelo (10),
- un primer actuador (1) y un segundo actuador (2) en conexión con la superficie de control de vuelo (10) para su movimiento,
- 35 - el primer actuador (1) comprendiendo un sensor analógico de posición (7.1) y un sensor analógico de carga (7.2), el sensor analógico de posición (7.1) configurado para proporcionar una señal analógica de la posición del primer actuador (1) y el sensor analógico de carga (7.2) configurado para proporcionar una señal analógica de la carga del primer actuador (1),
- 40 - el segundo actuador (2) que comprende un sensor analógico de posición (7.1) y un sensor analógico de carga (7.2), el sensor analógico de posición (7.1) configurado para proporcionar una señal analógica de la posición del segundo actuador (2) y el sensor analógico de carga (7.2) configurado para proporcionar una señal analógica de la carga del segundo actuador (2), y
- 45 - un ordenador de control de vuelo primario (5) y un ordenador de control de vuelo secundario (6), el ordenador de control de vuelo primario (5) configurado para proporcionar una señal digital de una posición establecida del primer actuador (1) y el ordenador de control de vuelo secundario (6) configurado para proporcionar una señal digital de una posición establecida del segundo actuador (2),

50 la aeronave caracterizada porque comprende un sistema de un actuador de una superficie de control de vuelo de una aeronave según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

55 13.- Método de control de un actuador para una superficie de control de vuelo de una aeronave, comprendiendo la aeronave un primer actuador (1) y un segundo actuador (2) en conexión con la superficie de control de vuelo (10) para su movimiento, comprendiendo además la aeronave un ordenador de control de vuelo primario (5) y un ordenador de control de vuelo secundario (6), estando el ordenador de control de vuelo primario (5) configurado para proporcionar una señal digital de posición establecida del primer actuador (1) y el ordenador de control de vuelo secundario (6) configurado para proporcionar una señal digital de posición establecida del segundo actuador (2), y

- el primer actuador (1) comprende un sensor analógico de posición (7.1) configurado para proporcionar una

señal analógica de la posición del primer actuador (1) y un sensor analógico de carga (7.2) configurado para proporcionar una señal analógica de la carga del primer actuador (1),

- 5
- el segundo actuador (2) comprende un sensor analógico de posición (7.1) configurado para proporcionar una señal analógica de la posición del segundo actuador (2) y un sensor analógico de carga (7.2) configurado para proporcionar una señal analógica de la carga del segundo actuador (2),

el método de control caracterizado por que comprende las siguientes etapas:

- 10
- proporcionar una primera unidad de control (3) conectada al primer actuador (1) para su activación y movimiento,
- 15
- la primera unidad de control (3) recibe del ordenador de control de vuelo primario (5) la posición establecida del primer actuador (1),
 - proporcionar una segunda unidad de control (4) conectada al segundo actuador (2) para su activación y movimiento,
- 20
- la segunda unidad de control (4) recibe del ordenador secundario de control de vuelo (6) la posición establecida del segundo actuador (2),
 - convertir la señal digital de la posición establecida del primer actuador (1) en una señal analógica mediante un primer convertidor digital a analógico (8) situado en la primera unidad de control (3),
- 25
- convertir la señal digital de la posición establecida del segundo actuador (2) en una señal analógica mediante un segundo convertidor digital a analógico (8) situado en la segunda unidad de control (4),
 - proporcionar a un primer elemento de control analógico (20) situado en la primera unidad de control (3):
 - o la señal analógica de salida de la posición establecida del primer actuador (1) del primer convertidor digital a analógico (8),
 - o la señal analógica medida del sensor de posición (7.1) del primer actuador (1), y
 - o las señales analógicas medidas de los sensores de carga (7.2) del primer y del segundo actuador (1, 2),
- 30
- 35
- proporcionar a un segundo elemento de control analógico (20) situado en la segunda unidad de control (4):
 - o la señal analógica de salida de la posición establecida del segundo actuador (2) del segundo convertidor digital a analógico (8),
 - o la señal analógica medida del sensor de posición (7.1) del segundo actuador (2), y
 - o la señal analógica medida de los sensores de carga (7.2) del primer y del segundo actuador (1, 2),
- 40
- 45
- calcular, en el primer elemento de control analógico (20) de la primera unidad de control (3), la desviación entre la señal analógica de la posición establecida del primer actuador (1) y la señal analógica medida del sensor de posición (7.1),
 - calcular, en el primer elemento de control analógico (20) de la primera unidad de control (3), una reparto de carga entre el primer y el segundo actuador (1, 2) y la desviación del primer actuador (1) con respecto a un objetivo de reparto de carga,
- 50
- proporcionando, en el primer elemento de control analógico (20) de la primera unidad de control (3), al primer actuador (1) una señal de su desviación con respecto a la posición establecida del primer actuador (1) corregida por su desviación con respecto al objetivo de reparto de carga,
- 55
- calcular, en el segundo elemento de control analógico (20) de la segunda unidad de control (4), la desviación entre la señal analógica de la posición establecida del segundo actuador (2) y la señal analógica medida del sensor de posición (7.1),
- 60
- calcular, en el segundo elemento de control analógico (20) de la segunda unidad de control (4), el reparto de carga entre el primer y el segundo actuador (1, 2) y la desviación del segundo actuador (2) con respecto a un objetivo de reparto de carga,

- proporcionar, en el segundo elemento de control analógico (20) de la segunda unidad de control (4), al segundo actuador (2) una señal de su desviación con respecto a la posición establecida del segundo actuador (2) corregida por su desviación con respecto al objetivo de reparto de carga.

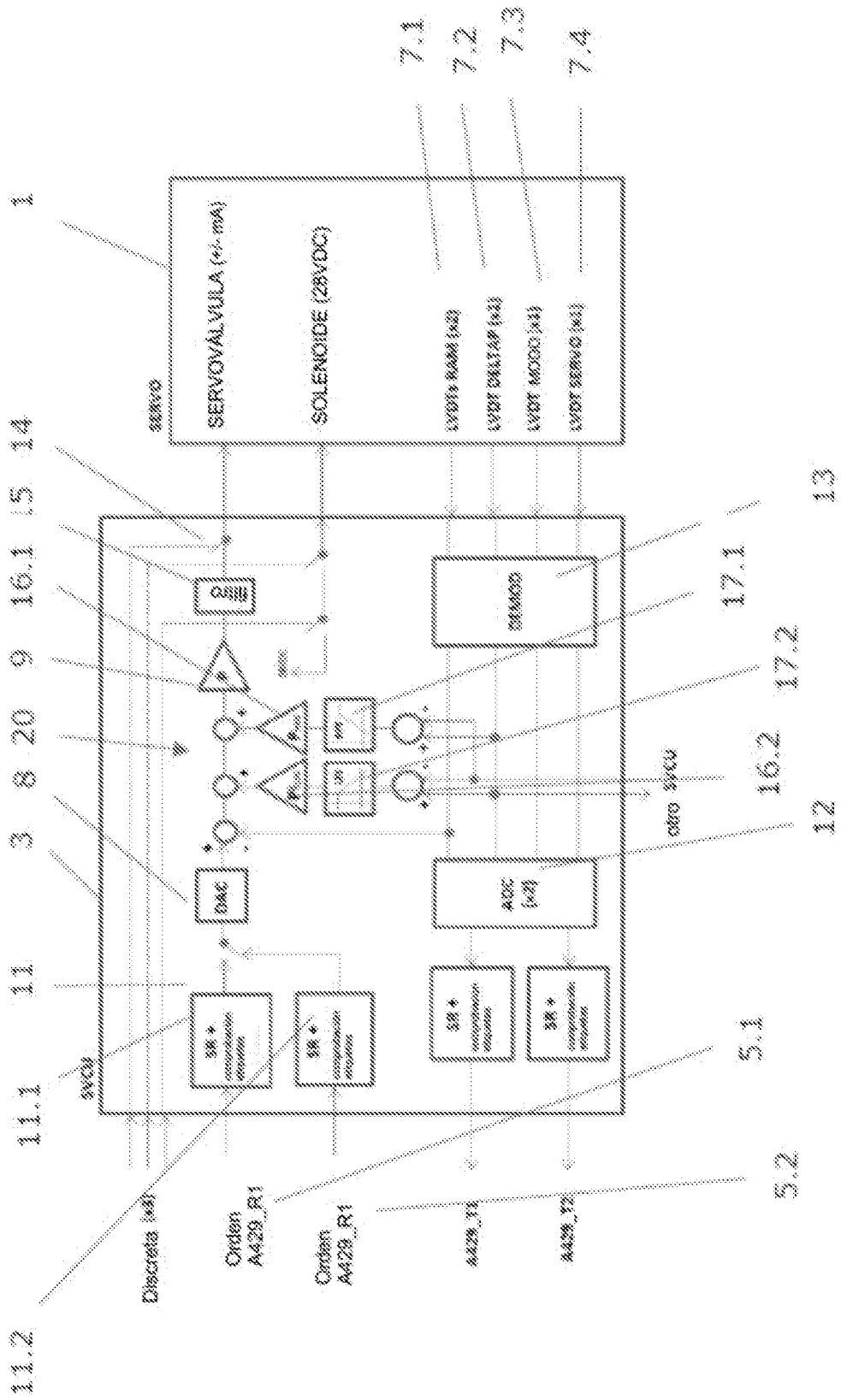


Fig. 1

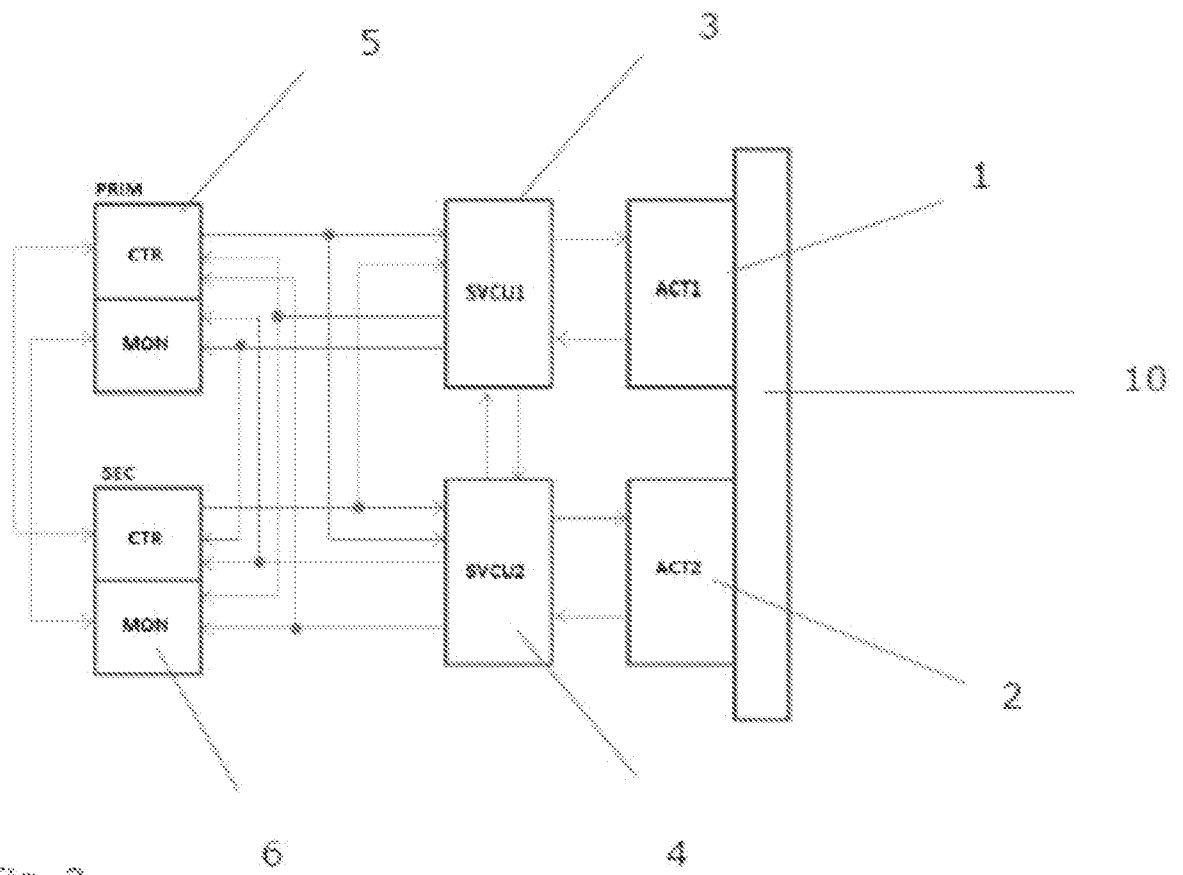


Fig. 2

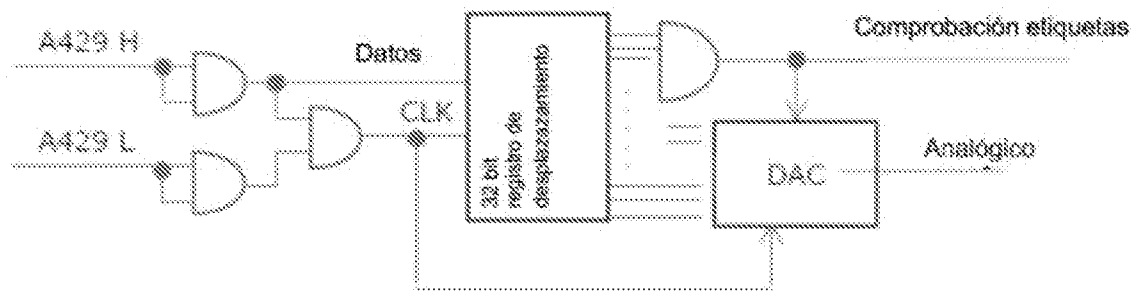


Fig. 3

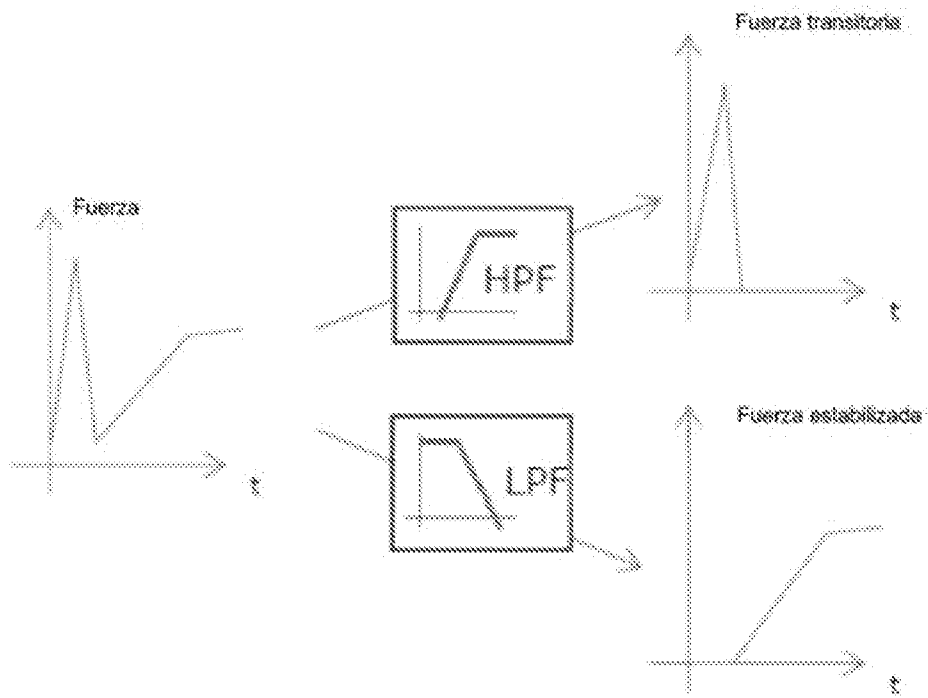


Fig. 4

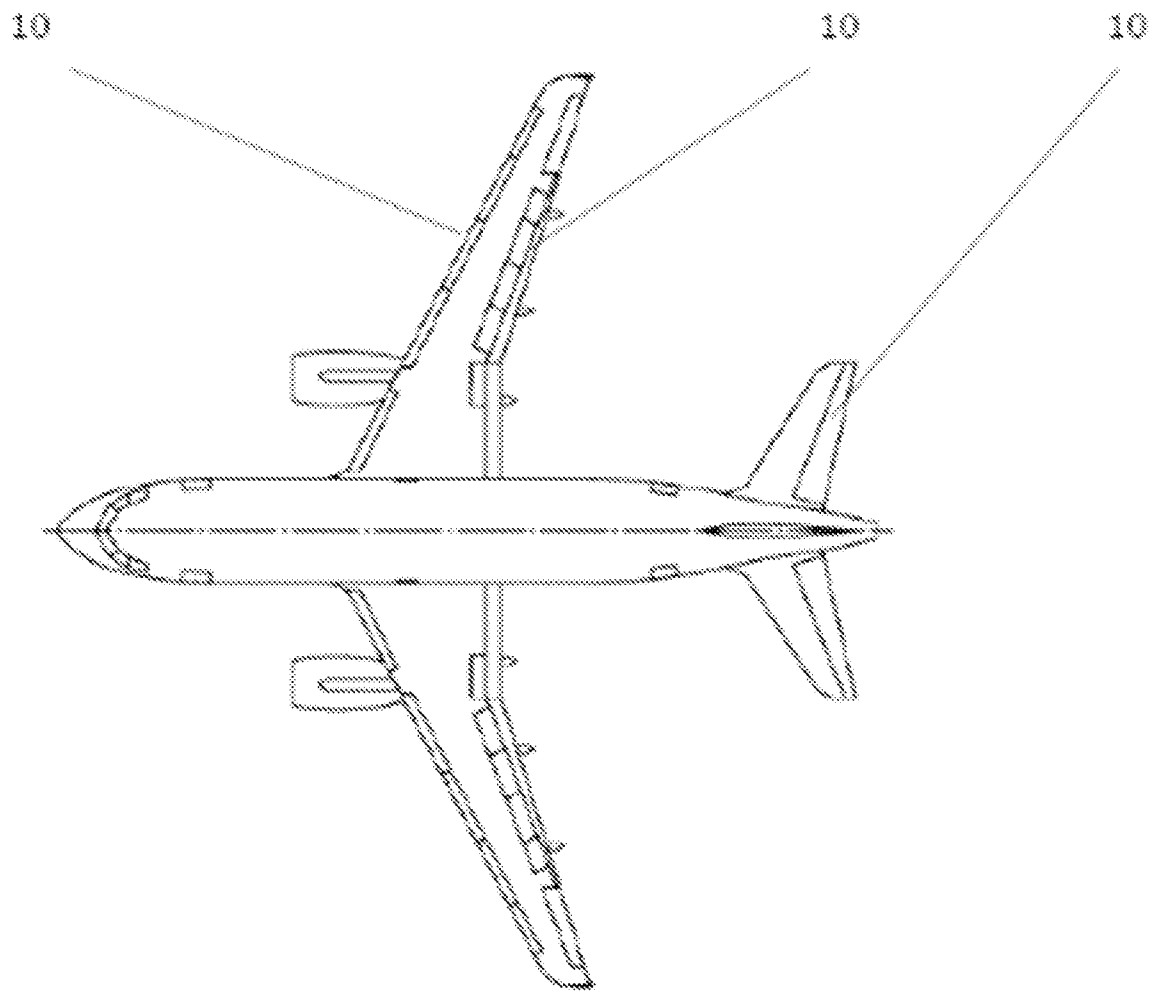


Fig. 5