

OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



① Número de publicación: **2 199 688**

② Número de solicitud: 200201859

⑤ Int. Cl.7: **G05B 6/02**  
G05B 11/06  
G05B 11/36

⑫

PATENTE DE INVENCION

B1

⑫ Fecha de presentación: **02.08.2002**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **16.02.2004**

Fecha de la concesión: **26.04.2005**

⑭ Fecha de anuncio de la concesión: **16.05.2005**

⑮ Fecha de publicación del folleto de la patente:  
**16.05.2005**

⑰ Titular/es: **Universidad de Sevilla**  
**Valparaiso 5, 2ª Planta**  
**41013 Sevilla, ES**

⑱ Inventor/es: **Alcalá Torrego, Ismael;**  
**Aracil Santonja, Javier y**  
**Gordillo Álvarez, Francisco**

⑲ Agente: **No consta**

⑳ Título: **Filtro y método para la compensación del desfase introducido por la limitación de pendiente de un actuador.**

㉑ Resumen:

Filtro y método para la compensación del desfase introducido por la limitación de pendiente de un actuador.

La presente invención, se refiere a un filtro para compensar el desfase debido a la velocidad máxima de respuesta en un actuador.

La salida compensada (y) corresponde a la salida del filtro (1), y se obtiene de un limitador de pendiente convencional que puede ser alimentado por dos señales dependiendo del valor absoluto de la derivada de la señal de entrada (|v|).

- Si el módulo de la derivada de la señal de entrada (|v|) supera un valor umbral, entonces, la señal aplicada al limitador de pendiente convencional es la señal resultante de sumar la señal de salida (y) con la derivada respecto al tiempo de una señal de error ( $\epsilon$ ). A su vez, dicha señal de error ( $\epsilon$ ) se obtiene restando a la señal de entrada (u) la señal de salida (y).
- Cuando el módulo de la derivada de la señal de entrada (|v|) no supera el valor umbral, la señal aplicada al limitador de pendiente convencional es la señal de entrada (u), comportándose el circuito (1) como un limitador de pendiente convencional.

ES 2 199 688 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

## DESCRIPCION

Filtro y método para la compensación del desfase introducido por la limitación de pendiente de un actuador.

### Objeto de la invención

La presente invención, se refiere a un filtro para compensar el desfase debido a la velocidad máxima de respuesta en un actuador de un sistema de control, en el cual la derivada temporal de la salida de un circuito contenido en el sistema de control está limitado en relación a la derivada temporal de la señal de entrada al circuito, si la derivada temporal de la señal de entrada excede un valor predeterminado. La invención también está relacionada con un filtro para compensar la fase en el sistema de control de un motor, el cual incluye un circuito con términos limitadores que limitan la derivada temporal de una señal de salida en relación a la derivada temporal de una señal de entrada al circuito, si la derivada de la señal de entrada excede un valor predeterminado, impuesto por la limitación.

### Antecedentes de la invención

Todos

los actuadores físicos (motores eléctricos, válvulas hidráulicas, etc) tienen una máxima velocidad de respuesta a los cambios en los comandos que se le aplican. Este efecto se conoce como limitación de pendiente, y dificulta el control del sistema al obtenerse una respuesta del actuador diferente a la señal de comando aplicada.

En aplicaciones aeronáuticas, el efecto de limitación de pendiente produce oscilaciones que se clasifican como PIO de Categoría II (del inglés Pilot-Induced Oscillations o más recientemente Pilot-Involved Oscillations). Estas oscilaciones aparecen definidas en el estándar militar estadounidense MIL-STD-1797A como: "oscilaciones mantenidas o incontrolables resultado de los esfuerzos del piloto por controlar el avión".

En los últimos años, ejemplos de este fenómeno se han puesto de manifiesto en varios accidentes con aviones de última generación. Esto ha motivado el análisis en profundidad del problema, como los reflejados en los informes técnicos "Pilot-Induced Oscillations Research: Status at the End of the Century", NASA Dryden Flight Research Center (2001); y "Flight Control Design - Best Practices", RTO-TR-029, Research And Technology Organization of NATO (2000). El resultado de estas investigaciones ha propiciado la obtención de las siguientes recomendaciones para compensar la limitación de pendiente:

- En el caso de señales lentas de entrada, la salida debe coincidir con la entrada.
- Ante entradas senoidales rápidas, debe reducir el desfase.
- , Ante entradas en rampa y en escalón, debe minimizar el retardo dinámico.

Basados en estas recomendaciones han aparecido numerosos métodos de compensación para abordar este problema, aunque en los informes anteriores quedan destacados dos filtros particulares: la patente US 5528119 y la patente WO 99/09461.

Una vez realizada esta breve presentación del estado actual de la técnica, es propósito de la presente invención, el presentar un filtro de compensación que utiliza un planteamiento alternativo para mejorar las características conseguidas por los anteriores métodos constituyentes del estado de la técnica.

### Descripción de la invención

La presente invención consiste en un filtro que utiliza realimentación conmutada para compensar el desfase. En concreto, cuando el módulo de la derivada temporal de la señal de entrada ( $|v|$ ) no supera un cierto valor umbral, la salida ( $y$ ) se obtiene de un limitador de pendiente convencional alimentado por la señal de entrada ( $u$ ). Por otro lado, si supera el valor umbral, la señal ( $y$ ) es la salida de un limitador de pendiente alimentado con la suma de la señal de salida ( $y$ ) y la derivada temporal de una señal de error ( $\epsilon$ ). Siendo la señal de error ( $\epsilon$ ) el resultado de restar a la señal de entrada ( $u$ ) la señal de salida ( $y$ ).

Estos planteamientos y las reivindicaciones, se van a utilizar en la descripción de una realización preferida para un dispositivo acorde con la invención.

### Breve descripción de los dibujos

A continuación se comentan los dibujos que acompañan la presente memoria y que van a permitir una mejor comprensión de las descripciones del invento. En ellos, se presenta a modo de ejemplo un caso práctico de aplicación.

La figura 1 corresponde a la respuesta temporal de las señales de entrada ( $u$ ) y de salida ( $y$ ) de un filtro acorde a la invención. A título comparativo, se presenta la respuesta de un limitador de pendiente convencional en línea punteada.

En la figura 2 aparece la respuesta frecuencial para distintas amplitudes de un filtro acorde con la invención. En esa figura se ha sintonizado el umbral de conmutación para compensación en un rango de funcionamiento de frecuencias entre 0 y 10 rad/s.

Por último, en la figura 3 se representa esquemáticamente, a título de ejemplo, un caso práctico de realización del filtro para compensar el desfase de acuerdo con la invención.

### Descripción de una realización preferida

Para facilitar la comprensión de la descripción, en la figura 3 aparece un ejemplo de realización, aunque es posible utilizar configuraciones equivalentes.

La señal de entrada ( $u$ ) se deriva en la primera función de derivación (2), donde (2) significa derivada respecto al tiempo. A continuación se obtiene en (3) el valor absoluto de la señal de entrada para obtener la señal de conmutación ( $|v|$ ), donde (3) representa el valor absoluto de la señal.

Por otro lado, a la señal de entrada ( $u$ ) al filtro (1), se le resta en (4) la salida del filtro ( $y$ ) para obtener la señal de error ( $\epsilon$ ), donde (4) representa un bloque que resta dos señales. A continuación, la señal de error ( $\epsilon$ ) se deriva en la segunda función de derivación (5), donde (5) significa la derivada respecto al tiempo de una señal. El error ( $\epsilon$ ) derivado, se procede a sumarlo en (6) con la salida ( $y$ ) del filtro (1) para obtener la señal de fase compensada ( $\delta$ ). Donde (6) representa un bloque sumador de seriales.

El bloque (7) corresponde a un conmutador con dos posiciones seleccionables según el valor de la señal de conmutación. Si la señal de conmutación ( $|v|$ ) supera un cierto parámetro umbral  $\mu$ , la salida de (7) corresponde a la señal con el desfase compensado ( $\delta$ ). En cambio, si la señal de conmutación ( $|v|$ ) no supera el parámetro del umbral  $\mu$  la salida del conmutador (x) es igual a la señal de entrada (u) al filtro (1).

Finalmente, la salida del conmutador (x) se introduce en (8) para obtener la salida (y) del filtro (1), donde (8) significa una limitación de pendiente convencional con valor de máxima pendiente igual al que se pretende compensar o a una estimación de la misma.

De todo lo descrito y por la observación de las figuras 2 y 3, se desprenden ventajas que presenta el filtro respecto a otras realizaciones constituyentes del estado de la técnica y que se recogen a continuación:

- La primera ventaja de un filtro acorde a la invención es la existencia de un único parámetro de sintonización, el umbral de conmutación  $\mu$ . El parámetro se selecciona de forma sencilla para cada aplicación

concreta según lo que se consideren como señales de entrada lentas o rápidas.

- El filtro ante señales de entrada (u) rápidas dentro del rango de funcionamiento genera una señal de salida (y) con un desfase constante en función del parámetro del filtro (el umbral de conmutación). Este desfase constante se puede calcular en función del umbral de conmutación  $\mu$  y proporciona una ventaja adicional, ya que su conocimiento facilita la determinación del margen de fase necesario para el diseño de los sistemas de control del vehículo.
- Además, otra ventaja importante que presenta la invención es que la compensación de desfase no depende de la amplitud de entrada.

Debido a estas ventajas que aumentan la robustez del sistema frente a la aparición de oscilaciones, la invención tiene aplicaciones en el control de aeronaves, aunque también puede ser utilizada en otro tipo de sistema de control con actuadores físicos.

## REIVINDICACIONES

1. Un filtro para la compensación del desfase introducido por la limitación de pendiente de un actuador, del tipo de los que generan una señal de salida (y) limitada en relación a la derivada temporal de una señal de entrada (u) en el caso de que la derivada temporal de la señal de entrada (u) exceda un valor predeterminado y que permita compensar la fase de la señal de salida (y) en relación a la señal de entrada (u), **caracterizado** por el hecho de incluir: un término primera función de derivación (2) para derivar respecto al tiempo la señal de entrada (u), un término de valor absoluto (3) para formar el valor absoluto de la derivada de la señal de entrada ( $|v|$ ), un término de formación de la señal de error (4) para formar una señal de error ( $\epsilon$ ) entre la señal de entrada (u) y la señal de salida (y), un término segunda función de derivación (5) para derivar respecto al tiempo la señal de error ( $\epsilon$ ), un término suma (6) que realiza la suma de la señal de error derivada en (5) con la señal de salida (y) para generar la señal con el desfase compensado ( $\delta$ ), un término conmutador (7) que según si el valor de la señal de conmutación ( $|v|$ ) supera un parámetro de conmutación  $\mu$  utiliza bien la señal de entrada (u) o bien la señal con el desfase compensado ( $\delta$ ), y, un

término convencional de limitación de pendiente (8) que a partir de la señal (x) produce la señal de salida (y).

2. Un método para la compensación del desfase introducido por la limitación de pendiente de un actuador, del tipo de los que generan una señal de salida (y) limitada en relación a la derivada temporal de una señal de entrada (u) en el caso de que la derivada temporal de la señal de entrada (u) exceda un valor predeterminado y que permita compensar la fase de la señal de salida (y) en relación a la señal de entrada (u), **caracterizado** por el hecho de comprender los pasos de derivar respecto al tiempo la señal de entrada (u), formar el valor absoluto de la derivada de la señal de entrada ( $|v|$ ), formar una señal de error ( $\epsilon$ ) entre la señal de entrada (u) y la señal de salida (y), derivar respecto al tiempo la señal de error ( $\epsilon$ ), sumar la señal de salida (y) a la señal de error derivada para generar la señal con el desfase compensado ( $\delta$ ), conectar la señal (x) con la señal de entrada (u) si el valor de la señal de conmutación ( $|v|$ ) supera un parámetro de conmutación  $\mu$  o en caso contrario poner al valor de (x) con el valor de la señal de desfase compensado ( $\delta$ ), y, enviar la señal (x) a un dispositivo convencional de limitación de pendiente (8) que produce la señal de salida (y).

30

35

40

45

50

55

60

65

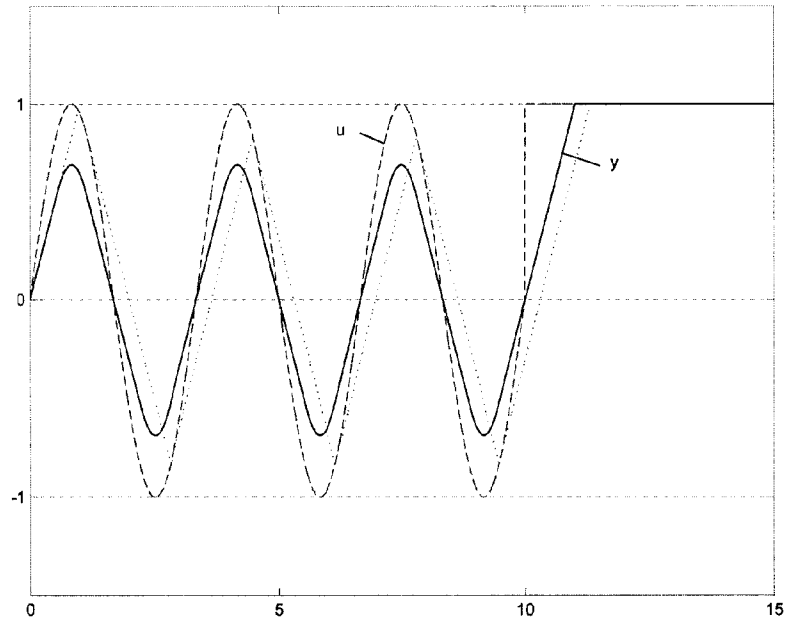


Fig. 1

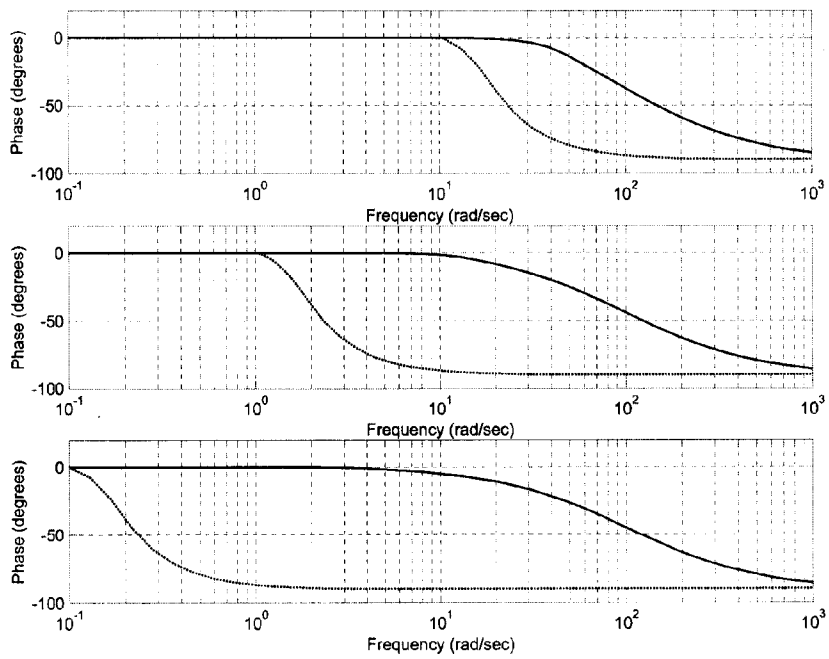


Fig. 2

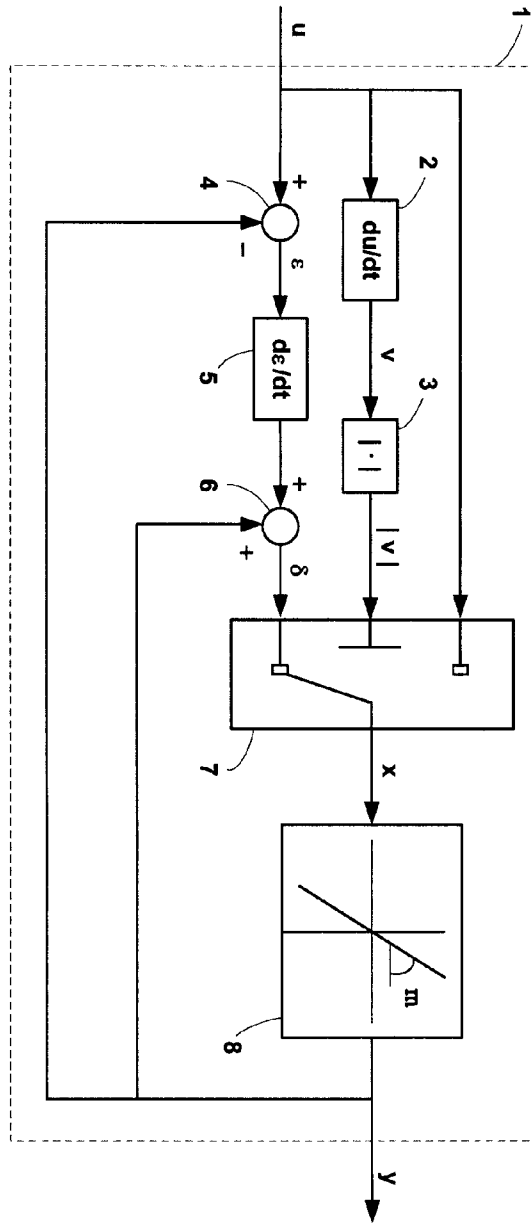


Fig. 3



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① ES 2 199 688

② N° de solicitud: 200201859

③ Fecha de presentación de la solicitud: **02.08.2002**

④ Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤ Int. Cl.7: G05B 6/02, 11/06, 11/36

### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	WO 9909461 A (SAAB AB) 25.02.1999, todo el documento.	1,2
A	WO 9533229 A (SAAB-SCANIA AKTIEBOLAG) 07.12.1995, reivindicación 1; figuras 1-6.	1,2
A	US 5528119 A (RUNDQWIST et al.) 18.06.1996, columna 5, línea 63 - columna 9, línea 44; figuras.	1,2
A	US 5079492 A (TAKAGI) 07.01.1992, columna 3, línea 41 - columna 4, línea 43; figura 1.	1,2

#### Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

#### El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe

08.09.2003

Examinador

P. Pérez Fernández

Página

1/1