

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 950 714**

51 Int. Cl.:

F02D 41/14 (2006.01)

F02D 31/00 (2006.01)

G05B 11/42 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.03.2019** **PCT/IB2019/052485**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.10.2019** **WO19186418**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.03.2019** **E 19721780 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.05.2023** **EP 3775522**

54 Título: **Método de control de velocidad para un motor de combustión interna**

30 Prioridad:

27.03.2018 IT 201800004003

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

13.10.2023

73 Titular/es:

FPT INDUSTRIAL S.P.A. (100.0%)
Via Puglia 15
10156 Torino, IT

72 Inventor/es:

CARO, MARCELLO;
AIMAR, BRUNO y
BRUCATO, ALDO

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 950 714 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 de control de velocidad para un motor de combustión interna

5 Referencias cruzadas a solicitudes relacionadas

Esta solicitud de patente reclama la prioridad de la solicitud de patente italiana no. 102018000004003 presentada el 27/03/2018.

10 Campo técnico de la invención

La invención se refiere al campo de los métodos de control para controlar el punto de funcionamiento de los motores de combustión interna.

15 Estado del arte

Se sabe que el pedal del acelerador permite al conductor provocar una variación en la velocidad de rotación del motor de combustión interna.

20 Esto es evidentemente consecuencia de una variación en un par motor suministrado por el motor de combustión interna. Por lo tanto, el pedal del acelerador puede relacionarse con el punto de funcionamiento del motor, es decir, el velocidad/par motor, del motor de combustión interna que representa, con una inclinación relativa, un valor de par motor solicitado o una velocidad objetiva del motor.

25 La velocidad del motor y el par motor están evidentemente correlacionados entre sí; no obstante, un control de velocidad implica reacciones muy rápidas del motor de combustión interna.

El control de velocidad del motor de combustión interna es particularmente delicado debido al retardo intrínseco de respuesta del motor debido a diferentes factores, entre los que se encuentra el efecto capacitivo del colector de admisión, que tiene una dinámica lenta.

30 Durante un cambio o una maniobra de marchas, o en caso de inserción repentina de una carga, como una bomba o un compresor del vehículo, o un cambio repentino en la pendiente de la carretera, el control de velocidad debe proporcionar una respuesta con la máxima rapidez y precisión.

35 Un esquema de control de velocidad se basa en el hecho de calcular un error de velocidad relativo a un valor de referencia y, en consecuencia, en el cálculo de la variable de control necesaria (the torque) (el par motor) del sistema controlado, a fin de cambiar la respuesta del motor de combustión interna, con el fin de reducir o eliminar dicho error. Esto es evidentemente un control de retroalimentación.

40 El controlador típico utilizado por la técnica anterior para controlar la velocidad del motor es un controlador PI (proporcional, integral). En otras palabras, el error entre un valor de referencia y el valor medido o estimado de la salida del sistema se corrige a través de un controlador proporcional y un controlador integral, que, basándose en dicho error, generan las señales de control respectivas. La suma de las salidas respectivas, es decir, de las respectivas señales de control generadas, se aplica a la entrada del sistema para hacer que la salida del sistema converja hacia el valor de referencia, que, en este caso específico, es una referencia de la velocidad del motor.

El uso de una contribución derivada, creando así un PID completo, sería extremadamente ventajoso, ya que la contribución derivada permite una respuesta más inmediata a las variaciones rápidas de la carga y, en general, a las interferencias externas.

50 Un controlador PID completo requiere que se añadan las salidas de los controladores P, I y D y el resultado se aplica a la entrada del sistema que se va a controlar.

55 El término derivado es un componente de control avanzado, que típicamente introduce dinámicas de alta frecuencia en el sistema, haciendo así el controlador inestable.

Por esta razón, la contribución derivada no se suele adoptar.

60 De acuerdo con un primer esquema de control, que tiene como objetivo limitar las sobreelongaciones y subelongaciones (under/overshoots) (menos oscilaciones/oscilaciones en exceso) del sistema, que se deben típicamente al término integral, técnicamente conocido como "anti-windup" ("anti-entrollamiento"), la respuesta de la contribución integral está saturada.

65 De acuerdo con un segundo esquema de control, que tiene como objetivo limitar las sobreelongaciones y subelongaciones, el término integral se puede ajustar a cero (reset) (reinicio) en función del cambio de signo del error,

con el resultado de que el motor de combustión interna asume un comportamiento vanguardista e impredecible.

FR2858660A1 divulga la corrección del término integral en función del error de velocidad y de la derivada de velocidad.

5 Breve descripción de la invención

El objeto de la invención es proporcionar un método de control para controlar un motor de combustión interna, que permite la implementación de un control de velocidad rápida, pero, al mismo tiempo, es estable y fluido.

10 La idea en la que se basa la invención es la de proporcionar un control de retroalimentación por medio de un controlador PI, en el que la contribución derivada no se añade a las otras contribuciones, sino que interviene para cambiar un parámetro operativo del controlador integral.

15 En particular, el controlador integral consta de un saturador, que satura la señal de control hacia el motor de combustión interna en función de un error de velocidad y en función de la derivada de la velocidad del motor de combustión interna.

Con respecto a la correlación entre el controlador integral y el controlador derivado, podemos decir que el primero es una función del segundo, además de ser una función del error de velocidad.

20 La contribución derivada responde mucho más rápido que las contribuciones proporcionales e integrales, pero su contribución se utiliza para intervenir sobre la contribución integrativa, minimizando las sobreelongaciones y subelongaciones de la respuesta del motor de combustión interna, sin poner en peligro la estabilidad del mismo.

25 Las reivindicaciones describen las realizaciones preferidas de la invención, formando así una parte integral de la descripción.

Breve descripción de las figuras

30 Otros objetos y ventajas de la invención se entenderán mejor al considerar la siguiente descripción detallada de una realización de la misma (y de variantes relativas) con referencia a los dibujos que la acompañan meramente mostrando ejemplos no limitantes, en los que:

la figura 1 muestra un ejemplo del diagrama de control basado en la invención;
la figura 2 muestra, en detalle, un bloque del diagrama de control de la figura 1.

35 En las figuras, los mismos números y las mismas letras de referencia indican los mismos elementos o componentes.

A los efectos de la invención, el término "segundo" componente no implica la presencia de un "primer" componente. De hecho, estos términos solo se utilizan para mayor claridad y no deben interpretarse de manera limitativa.

40 Descripción detallada de las realizaciones

La figura 1 muestra un ejemplo de control con un diagrama de bloques.

45 El control se lleva a cabo de manera recursiva con un tiempo discreto, de acuerdo con la frecuencia de funcionamiento de la unidad de procesamiento que controla el motor de combustión interna. El motor de combustión interna se representa, en la figura 1, con el bloque llamado "Motor".

50 Un sensor de revoluciones, por ejemplo, una rueda fónica aplicada al eje de transmisión permite medir la velocidad del motor de combustión interna.

Además, el pedal del acelerador o cualquier otro dispositivo del vehículo utilizado para establecer una velocidad de referencia, como por ejemplo una transmisión robótica o una toma de poder, genera la señal de referencia Ref en términos de velocidad objetivo del motor.

55 La velocidad medida Speed se resta de la velocidad objetivo Reg, generando así un error Err por medio del primer nodo adicionador S1 a la izquierda en la figura 1.

El mismo valor de error se lleva a la entrada de los bloques P, I, creando así un control PI.

60 Las salidas de los controladores P e I convergen en el nodo adicionador S2 a la derecha en la figura 1 para controlar directamente la entrada del motor de combustión interna Engine. Los controladores generalmente reciben, en la entrada, señales de velocidad y generan señales de control relativas al porcentaje de par motor que debe suministrar el motor, en relación con el par motor nominal.

65 El controlador D recibe, como entrada, la velocidad medida Speed y la salida relativa, es decir, la ΔSpeed ($\Delta\text{Velocidad}$)

derivada de la velocidad medida, se lleva a la entrada del bloque que representa el control integral I.

Según la invención, el controlador derivado D ayuda a controlar un saturador Sat_1 con referencia a la figura 2, que limita la contribución del controlador integral. Por lo tanto, la contribución integrativa se satura de acuerdo con una función F(Err, ΔSpeed) del error de velocidad Err y de la derivada de velocidad.

Según la figura 2, el bloque de saturación Sat_1 se incluye en el bucle integrativo.

Un controlador integral I (con tiempo discreto), de acuerdo con una variante preferida de la invención, puede representarse como una memoria "Memory" que contiene un valor Int-1 generado por el controlador integral I en el paso anterior (por lo tanto, "Int-1" indica que se genera en el paso "-1"), a lo que, de manera iterativa, mediante el nodo de diagrama S3, se añade el valor actual del error de velocidad Err, que se multiplica correctamente por el coeficiente integrativo KI, mediante el nodo multiplicador M1. El resultado de la adición llevada a cabo por el nodo de aditivo S3 representa la salida del controlador integrativo I, es decir, la señal de control antes mencionada, y, al mismo tiempo, la entrada Int-0 de la memoria Memory (es decir, en el paso actual "0"), que lo almacena para el siguiente paso de integración.

El saturador Sat_1, de acuerdo con la invención, está dispuesto entre el nodo adicionador S3 y la entrada de la memoria Memory, que representa la salida del controlador integrativo, de modo que la limitación se opera no solo en la salida del controlador integrativo, sino también en la entrada de la "Memory" contenida en ella. FR2858660 muestra la ponderación de la entrada del bloque integrativo, pero no muestra ninguna interacción entre el error de velocidad variable y la derivada de la velocidad en el funcionamiento del bloque en sí. No es casualidad que, según la figura 1 de la invención, el bloque integral I tenga dos entradas, mientras que el bloque integral de FR2858660 tiene una sola entrada, como la variable de entrada se manipula en el exterior del propio bloque integral. El resultado es evidentemente diferente.

De acuerdo con una variante preferida de la invención, el saturador Sat_1 realiza una saturación simétrica relativa a cero y el módulo de la saturación viene dado por la siguiente fórmula:

$$|Saturation| = |K * RadQ \{ [\exp (- |Err| / A)] * [\exp (- |ΔSpeed| / B)] \}|$$

En donde:

RadQ representa el operador de raíz cuadrada

Exp representa el operador exponencial

|Err| representa el módulo del error de velocidad Err descrito anteriormente

|ΔSpeed| representa el módulo de la derivada de la velocidad del motor ΔSpeed (ΔVelocidad)

K, A y B representan valores constantes.

La derivada de la velocidad del motor se puede expresar mediante la ecuación de Newton:

$$\Delta Speed = Costo * [(Par\ motor\ proporcionado\ por\ el\ motor) -$$

(Par motor resistente debido a cargas externas)]

En donde el costo generalmente es el recíproco del momento de inercia J del motor de combustión interna.

Dichas cargas externas incluyen, por ejemplo, la pendiente del camino cubierto por el vehículo impulsado por el motor de combustión interna o el par de resistencia ofrecido por un generador eléctrico, un compresor, una bomba.

El bloque CALC, basado en las entradas

Error de velocidad Err

Derivada de velocidad ΔSpeed (ΔVelocidad),

Se ha aplicado la fórmula antes mencionada, calculando el módulo de saturación |Saturation|.

El bloque CALC tiene dos salidas, cada una dirigida a las dos entradas: alta y baja del saturador Sat_1.

Una saturación positiva o negativa se aplica solo cuando los signos de Err y ΔSpeed (ΔVelocidad) son concordantes, positivos o negativos, de lo contrario pasa +/- 100 % de la señal generada por el adicionador S3.

Un segundo saturador Sat_2 se organiza preferentemente entre el nodo multiplicador M1 y el adicionador S3, para limitar la señal de control a +100 % y -100 % de la llamada "authority of the actuator" ("autoridad del actuador"). Las razones para la implementación del segundo saturador Sat_2 son conocidas por una persona experta en la técnica y tienen

5 sustancialmente el objetivo de evitar tener que solicitar inútilmente un rendimiento al actuador (Engine) (Motor) que exceda las características nominales relativas. En este caso, el actuador es el motor de combustión interna Engine, que no puede proporcionar más del par motor nominal relativo en el mapa de velocidad relativa/par motor nominal. De acuerdo con una variante preferida de la invención, la fórmula mencionada se implementa en el bloque CALC mediante una tabla de búsqueda, con la ventaja de una mayor flexibilidad, ya que permite cambiar los coeficientes de la propia tabla, introducción de diferencias de la fórmula antes mencionada de la salida, que se adaptan mejor al motor de combustión interna específico. Además, la tabla de búsqueda permite una reducción de la carga informática. En lo sucesivo, hay un ejemplo de una tabla de búsqueda que tiene como entradas, $|\Delta\text{Speed}|$ y $|\text{Err}|$.

Saturación expresada en términos porcentuales.		$ \Delta\text{Speed} $				
		0	100	200	300	400
$ \text{Err} $	0	100	61	37	22	14
	60	74	45	27	17	10
	120	55	33	20	12	7
	180	41	25	15	9	6
	240	30	18	11	7	4

10 Los valores mostrados en la matriz, por ejemplo 5 x 5, mostrados en la tabla anterior son los considerados ideales para una implementación de la invención. Sin embargo, se pueden cambiar correctamente.

15 Estos valores son positivos cuando Err y ΔSpeed ambos tienen un signo positivo; de lo contrario, cuando Err y ΔSpeed ambos tienen un signo negativo, cada uno de los valores mostrados en la tabla se multiplica por "-1".

20 En otras palabras, el saturador Sat_1 es simétrico con respecto a cero y, cuando los signos son positivos, esto indica que la parte alta (positive) (positiva) del saturador está siendo manipulada (upper limitation) (limitación superior), viceversa, cuando los signos son negativos, esto indica que la parte baja (negative) (negativa) del saturador está siendo limitada (lower limitation) (limitación inferior).

25 Este método se puede implementar ventajosamente mediante una unidad de control del motor ECU del motor de combustión interna, que procesa la información relativa a la velocidad del motor y al pisado del pedal del acelerador o las solicitudes de revoluciones realizadas por otros dispositivos y, en consecuencia, controla el motor de combustión interna de acuerdo con lo descrito anteriormente.

30 Esta invención puede ser implementada ventajosamente por medio de un programa de ordenador que comprende medios de codificación para llevar a cabo uno o más pasos del método, cuando el programa se ejecuta en un ordenador. Por lo tanto, el ámbito de protección se extiende a dicho programa de ordenador y, además, a los medios que pueden ser leídos por un ordenador y que comprenden un mensaje grabado, dichos medios que pueden ser leídos por un ordenador que comprende medios de codificación de programa para llevar a cabo uno o más pasos del método, cuando el programa se ejecuta en un ordenador.

35 El ejemplo no limitante descrito anteriormente puede estar sujeto a variaciones.

40 Al leer la descripción anterior, una persona cualificada puede llevar a cabo el tema de la invención sin introducir más detalles de fabricación. Los elementos y características contenidos en las diferentes realizaciones preferidas, incluidos los dibujos, pueden combinarse entre sí, sin que por esta razón se vaya más allá del ámbito de protección de esta solicitud de patente. La información contenida en la parte relativa al estado de la técnica solo sirve para comprender mejor la invención y no representa una declaración de existencia de los elementos descritos.

REIVINDICACIONES

1. Método de control de un motor de combustión interna mediante un control de retroalimentación de la velocidad del motor, basado en un error (Err) de dicha velocidad del motor, calculado entre un valor de referencia (Ref) y un valor medido (Speed) (Velocidad) de la velocidad, en el que dicho control comprende una contribución proporcional (P) y una contribución integral (I), el método comprende un paso de saturar dicha contribución integral mediante una función saturante (F(Err, ΔSpeed)) como función (F (Err, ΔSpeed)) de:
 - un derivado (ΔSpeed) ΔVelocidad) de dicho valor de velocidad medido (Speed) del motor y de
 - dicho error de velocidad (Err).
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde dicho paso de saturación se aplica cuando un primer signo de dicha derivada y un segundo signo de dicho error de velocidad son concordantes: positivo/positivo o negativo/negativo.
3. Método de acuerdo con la reivindicación 2, en donde dicha contribución integrativa (I) consiste en la suma (S3) de
 - un valor de error (Err) calculado en el paso actual, multiplicado por un coeficiente adicional (KI) y
 - un valor de la contribución integrativa (Int-1) generada en el paso inmediatamente anterior,y en donde dicho saturador (Sat_1) se aplica a dicha suma.
4. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 - 3, en que un valor absoluto de dicha saturación es dado por la siguiente fórmula:
$$|Saturation| = |K * RadQ \{ [\exp (- |Err| / A)] * [\exp (- |\Delta Speed| / B)] \}|$$
Dónde esto es:
 - RadQ representa el operador de raíz cuadrada
 - Exp representa el operador exponencial
 - |Err| representa el error de velocidad del módulo Err descrito anteriormente
 - |ΔSpeed| representa el módulo de la derivada de la velocidad del motor ΔSpeed (ΔVelocidad)
 - K, A y B representan valores constantes.
5. Método de acuerdo con la reivindicación 4, en donde los valores absolutos de dicha saturación calculados mediante la fórmula antedicha se mapean en una tabla de búsqueda.
6. Motor de combustión interna incluyendo
 - un dispositivo para medir una velocidad relativa,
 - una unidad de procesamiento (ECU) configurada para controlar dicho motor de combustión interna sobre la base de una señal de referencia de velocidad (Ref),dicha unidad de procesamiento se configura para realizar el método de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores de 1 a 5.
7. Vehículo o instalación fija que comprende el motor de combustión interna de acuerdo con la reivindicación 6.
8. Programa de ordenador que comprende un medio de codificación de programa adecuado para llevar a cabo todos los pasos de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, cuando dicho programa se ejecuta en la unidad de procesamiento (ECU) del motor de combustión interna de la reivindicación 6.
9. Medios legibles por ordenador que comprenden un programa grabado, dichos medios legibles por ordenador comprenden medios de codificación de programa adaptados para realizar todos los pasos de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, cuando dicho programa se ejecuta en la unidad de procesamiento (ECU) del motor de combustión interna de la reivindicación 6.

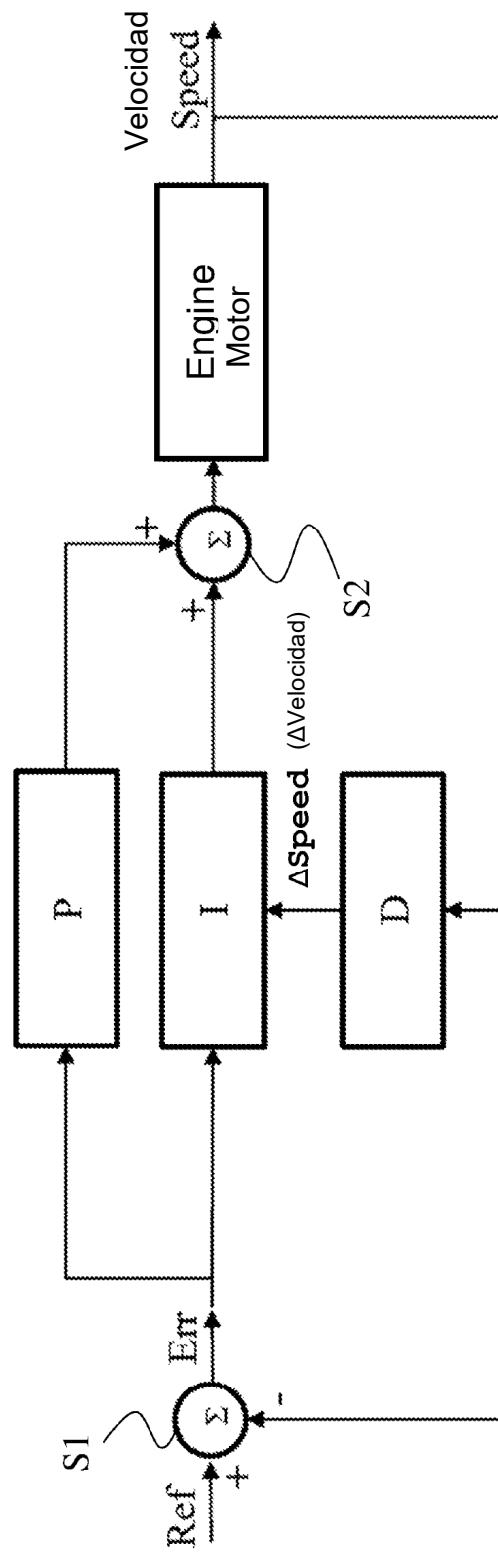


Fig. 1

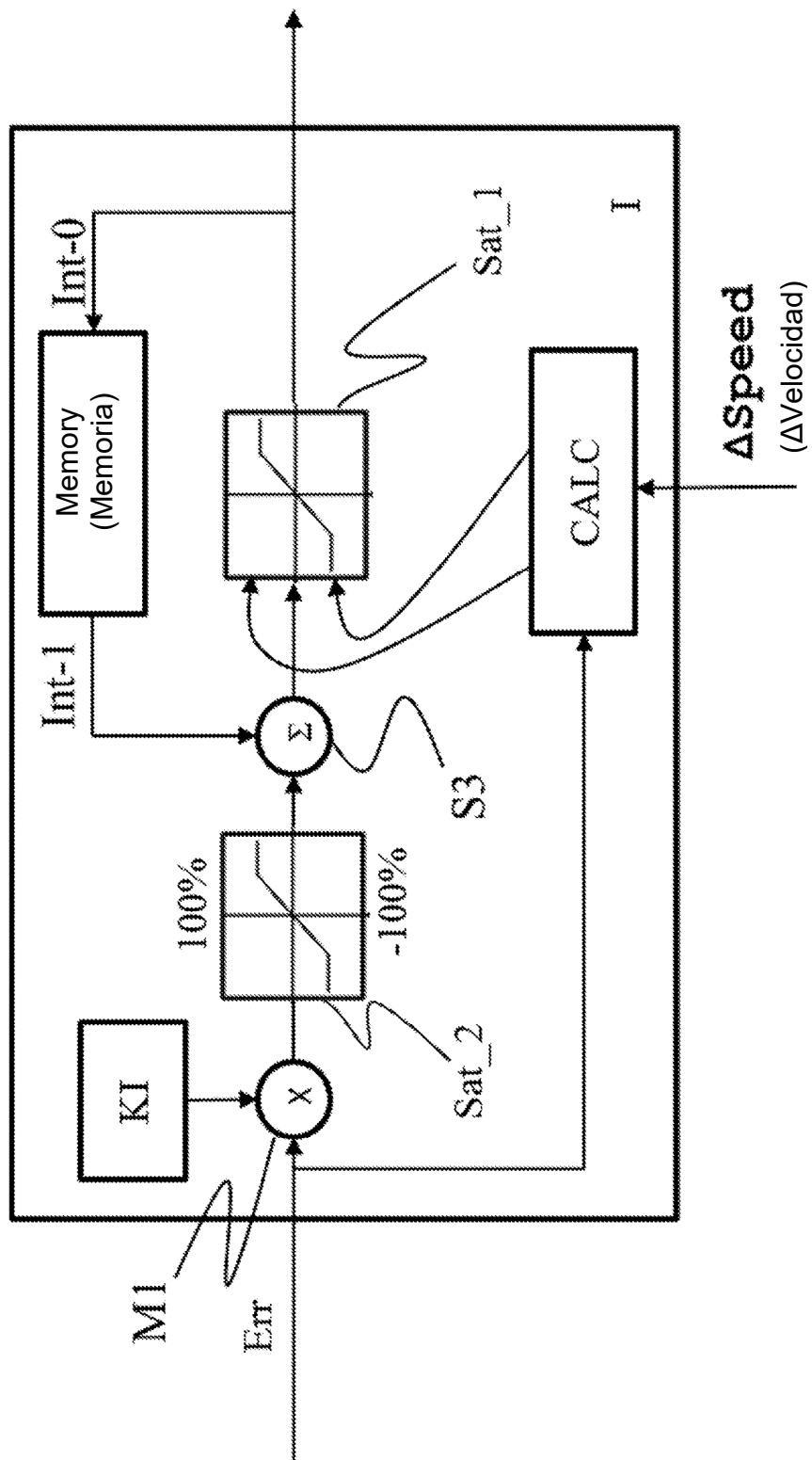


Fig. 2