

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 951 992**

51 Int. Cl.:

F02D 41/14 (2006.01)

F02D 31/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.04.2019** **PCT/IB2019/053449**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.10.2019** **WO19207542**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.04.2019** **E 19727091 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.06.2023** **EP 3784895**

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

30 Prioridad:

27.04.2018 IT 201800004932

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

26.10.2023

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 2 951 992 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. 102018000004932 presentada el 27/04/2018.

10 Campo técnico de la invención

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

El pedal del acelerador puede relacionarse con el punto del motor, es decir, la velocidad/par motor del motor, de funcionamiento del motor de combustión interna que representa, con una inclinación relativa de dicho pedal, un valor de par motor requerido o una velocidad objetivo del motor.

25 La velocidad del motor y el par motor son parámetros evidentemente interrelacionados; sin embargo, el control de velocidad conlleva respuestas muy rápidas por parte del motor de combustión interna.

30 El control de velocidad en el motor de combustión interna es particularmente delicado debido al retardo intrínseco en la respuesta del motor debido a varios factores, incluyendo el efecto capacitivo del colector de admisión, que presenta una respuesta lenta.

35 Durante un cambio de marcha o una maniobra, o la inserción repentina de una carga, como una bomba o un compresor del vehículo, o una variación repentina en la pendiente del camino, se requiere la máxima rapidez y precisión de respuesta del control de velocidad.

40 Un método 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 (torque) (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. Este es obviamente un control de retroalimentación.

45 El controlador típico utilizado en el arte conocido para controlar la velocidad del motor es de tipo 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 la salida del sistema, 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, las respectivas señales de control generadas, se aplica a la entrada del sistema para hacer que la salida del sistema converja con el valor de referencia, que en este caso es una referencia de velocidad del motor.

50 Sería extremadamente ventajoso utilizar también una contribución derivada, proporcionando un PID completo, ya que la contribución derivada permitiría una reacción más rápida, ya que el término derivado es un componente de control anticipativo. Desafortunadamente, el término derivado generalmente introduce dinámicas de alta frecuencia en el sistema, haciendo que el control sea inestable.

55 En un controlador PID, las salidas de los controladores P, I y D se agregan en conjunto y el resultado se aplica a la entrada del sistema que se va a controlar.

Debido a la inestabilidad mencionada anteriormente, la contribución derivada generalmente no se utiliza.

60 El documento US2013/0113408 A1 divulga un método para controlar la velocidad de un motor de combustión interna de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1. La contribución derivada en un controlador PID se añade solo cuando los signos del error de velocidad y de la derivada de velocidad son concordantes.

65 El documento FR2858660 A1 divulga una limitación de la contribución integral como una función de la derivada de velocidad y del error de velocidad.

El documento EP1439292 A2 divulga la saturación de la contribución integral como una función de la contribución

derivada para prevenir el sobreimpulso y el subimpulso.

Breve descripción de la invención

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

10 La idea básica de la presente invención es proporcionar un control de velocidad de retroalimentación mediante un controlador PID, que comprende una contribución proporcional, integral y derivada solo cuando un error de velocidad del motor es causado por una variación en el valor de referencia de velocidad, de lo contrario el controlador es PI, es decir, comprende solo contribuciones proporcionales e integrales.

15 En otras palabras, cuando se produce la condición de funcionamiento antes mencionada, se utiliza un controlador PID completo, en el que la suma de las respectivas salidas, es decir, de las respectivas señales de control generadas, se aplica a la entrada del motor de combustión interna para hacer que la salida del motor converja con el valor de referencia de velocidad.

20 Esto significa que cuando el error de velocidad es causado por una perturbación externa, por ejemplo, una rápida variación en la pendiente del camino, o la activación de un dispositivo conectado a una toma de fuerza del motor, etc., la contribución derivada no se añade a las contribuciones proporcionales e integrales.

25 Para discriminar el caso en que el error depende de una variación de la señal de referencia o de una variación de carga, es suficiente comparar un signo de dicho error de velocidad de rotación del motor con un signo de una derivada de velocidad de rotación del motor. En particular, si los signos son discordantes, entonces el error de velocidad es causado por una variación de carga.

A continuación, por "velocidad" se refiere a "velocidad de rotación del motor".

30 Cuando la derivada de velocidad se detecta como positiva y el error es negativo, significa que el motor está acelerando más allá del valor de referencia. Esto ocurre generalmente cuando una carga se desprende repentinamente.

Y a la inversa, cuando la derivada de velocidad es negativa y el error de velocidad es positivo, significa que el par motor suministrado por el motor no es suficiente para hacer frente a la carga aplicada, de repente, por ejemplo.

35 Por lo tanto, de acuerdo con la presente invención, la contribución derivada se agrega a las salidas de control proporcional e integral cuando los signos de error y derivados son concordantes.

40 A la inversa, cuando los signos son discordantes, la contribución derivada no se añade a las contribuciones integrales y proporcionales.

En relación con las implementaciones específicas de la invención, el uso de la contribución derivada puede decidirse cuando los signos mencionados son concordantes y positivos, o concordantes y negativos.

45 El hecho de utilizar la contribución derivada de acuerdo con la presente invención, hace que el motor sea extremadamente rápido, pero al mismo tiempo se evita la introducción de la dinámica de alta frecuencia en el sistema de control, que puede hacer que el control sea inestable.

Por "controlador" nos referimos al control de revoluciones realizado en el motor de combustión interna en general.

50 Según una variación preferida de la invención, no solo los signos deben ser concordantes, sino que el valor absoluto del error de velocidad debe superar un primer umbral predeterminado y el valor absoluto de la derivada de velocidad debe superar un segundo umbral predeterminado.

55 Según la invención, que se combina con las anteriores, cuando solo se utilizan las contribuciones proporcionales e integrales, la derivada de velocidad de rotación del motor (que normalmente se multiplica por un parámetro predeterminado que define la contribución derivada antes mencionada), se utiliza para modificar un parámetro de funcionamiento del controlador integral para compensar las variaciones repentinas debidas a las cargas.

60 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 velocidad del motor de combustión interna.

La contribución derivada responde mucho más rápidamente que las otras contribuciones proporcionales e integrales, pero su contribución se utiliza para intervenir en la contribución integral, minimizando los sobreimpulsos y subimpulsos de la respuesta del motor de combustión interna, sin afectar su estabilidad.

65 De lo anterior, queda claro que no se genera una señal que se añade a las contribuciones proporcionales e integrales

para minimizar las sobreelongaciones; más bien, la contribución derivada se utiliza para hacer frente a las variaciones repentinas de carga. Preferiblemente, la señal obtenida de la suma de las contribuciones integrales, proporcionales y derivadas no se satura.

5 Las reivindicaciones describen la invención, formando parte integral de la presente descripción.

Breve descripción de las figuras

10 Otros objetos y ventajas de la presente invención quedarán claros a partir de la siguiente descripción detallada de un ejemplo de realización de la misma (y de sus variaciones) y de los dibujos adjuntos proporcionados con fines meramente ilustrativos y no limitativos, en los que:

la figura 1 muestra un diagrama de control basado en un ejemplo de implementación de la presente invención;
15 las figuras 2a y 2b muestran dos diagramas de control equivalentes utilizados de manera mutuamente excluyente de acuerdo con otro ejemplo de implementación de la presente invención;
la figura 3 muestra, en detalle, un bloque del diagrama de control de la figura 2b.

Los mismos números y las mismas letras de referencia en las figuras identifican los mismos elementos o componentes.

20 En el contexto de la invención, el término “segundo” componente no implica la presencia de un “primer” componente. Dichos términos se utilizan solo para mayor claridad y no deben entenderse de manera limitativa.

Descripción detallada de ejemplos de realizaciones

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

El control se lleva a cabo de manera recursiva en un tiempo discreto, de acuerdo con la frecuencia de funcionamiento de la unidad de procesamiento ECU que controla el motor de combustión interna.

30 El motor de combustión interna se muestra en la figura 1 con el bloque del motor.

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

35 Además, el pedal del acelerador o cualquier dispositivo vehicular adecuado para conferir una velocidad de referencia, por ejemplo, una transmisión robotizada o una toma de potencia, genera la señal de referencia Ref en términos de velocidad objetivo del motor.

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

El mismo valor de error (velocidad) se transmite a la entrada de los bloques P e I, mientras que una señal de velocidad se transmite a la entrada del bloque D proporcionando un control PID.

45 Las salidas de los controladores P, I e D convergen en el nodo adicionador S2 a la derecha en la figura 1 para controlar el motor de combustión interna. Generalmente, los controladores reciben señales de velocidad en la entrada y generan señales de control relativas al porcentaje de par motor que el motor debe entregar, con respecto al par motor nominal relativo.

50 La contribución derivada D viene dada por la derivada de velocidad de rotación del motor ΔSpeed ($\Delta\text{Velocidad}$) multiplicada por un parámetro fijo o ajustable KD.

El bloque Sign (Signo) recibe, en la entrada, el error mencionado anteriormente y también la derivada de velocidad ΔSpeed del bloque derivado D y compara los signos relativos, permitiendo o no permitiendo, por medio del Switch (Conmutador), 55 la salida de la derivada D fluya en el nodo adicionador S2.

Por lo tanto, cuando el conmutador activa la salida derivada, se obtiene un control PID completo, de lo contrario, se obtiene un control tipo PI.

60 Preferiblemente, el bloque Sign permite la contribución del controlador derivado cuando ambos signos son positivos y también cuando ambos son negativos.

De acuerdo con una variación preferida de la invención, el bloque Sign no solo compara los signos, sino que también verifica que cuando ambos son positivos, el error de velocidad excede un primer umbral positivo predeterminado y la derivada excede un segundo umbral positivo predeterminado. Cuando se cumplen ambas condiciones, en relación con la concordancia de los signos y la superación de los umbrales respectivos, se utiliza la contribución derivada. 65

Por lo tanto, la verificación de que también los umbrales se han excedido (positiva y/o negativamente) representa una condición más restrictiva que la sola concordancia de signos.

5 A la inversa, cuando ambos signos son negativos, el bloque Sign verifica que el error de velocidad esté por debajo de un tercer umbral negativo predeterminado y que la contribución derivada esté por debajo de un cuarto umbral negativo predeterminado. Cuando se cumplen ambas condiciones, en relación con la concordancia de los signos y la superación de los umbrales respectivos, se utiliza la contribución derivada.

10 Cuando el módulo (valor absoluto) del primer y tercer umbral son iguales entre sí y el segundo y cuarto umbral son iguales entre sí, entonces el bloque Sign habilita dicho control derivado cuando los signos mencionados anteriormente son concordantes, y el valor absoluto del error de velocidad excede un primer umbral predeterminado y el valor absoluto de la derivada de velocidad excede un segundo umbral predeterminado.

15 En consecuencia, se define un primer intervalo entre el primer y el tercer umbral y un segundo intervalo entre el segundo y el cuarto umbral, en el que el controlador derivado se desconecta del nodo adicionador S2.

En una matriz de error de revolución/derivada 3 x 3, se define una llamada "banda inactiva", en la que el controlador derivado se desconecta del nodo adicionador S2.

20 La siguiente tabla muestra un ejemplo de aplicación del mecanismo de activación de la contribución derivada como una función de los signos y los umbrales.

		DERIVADA		
		NEGATIVO < Threshold4 (Umbral4)	BANDA INACTIVA	POSITIVO > Threshold2 (Umbral2)
ERROR	POSITIVO > Threshold1 (Umbral1)	0	0	1
	BANDA INACTIVA	0	0	0
	NEGATIVO < Threshold3 (Umbral3)	1	0	0

25 La presencia de un "1" indica que la contribución derivada se agrega en el nodo adicionador S2, mientras que el "0" indica que la contribución derivada no se agrega y, por lo tanto, se desconecta del nodo adicionador S2.

De acuerdo con otra variación preferida de la invención que se combina con cualquiera de las variaciones anteriores, cuando el bloque Sign desconecta la primera salida del control derivado D del segundo nodo adicionador S2, y conecta una segunda salida del control derivado D al controlador integral, en particular al saturador Sat_1 con referencia a la figura 3, que limita la contribución del controlador integral I,

La primera salida del control derivado proporciona $KD \cdot \Delta \text{Speed}$, mientras que la segunda salida proporciona solo ΔSpeed .

35 Por lo tanto, las figuras 2a y 2b corresponden a las disposiciones equivalentes existentes cuando el bloque Sign activa o desactiva respectivamente la conexión de la salida de control derivada con el segundo nodo adicionador S2.

Por lo tanto, la contribución integral se satura de acuerdo con una función $F(\text{Err}, \Delta \text{Speed})$ del error de velocidad Err y de la derivada de velocidad.

40

		DERIVADA		
		NEGATIVO < Threshold4 (Umbral4)	BANDA INACTIVA	POSITIVO > Threshold2 (Umbral2)
ERROR	POSITIVO > Threshold1 (Umbral1)	-1	0	1
	BANDA INACTIVA	0	0	0
	NEGATIVO < Threshold3 (Umbral3)	1	0	-1

La presencia de un "-1" indica que la contribución derivada no se utiliza para el control del motor, de acuerdo con la variación actual, y una segunda salida del bloque derivado, que genera la derivada de la velocidad de rotación del motor ΔSpeed , interactúa con el saturador del controlador integral como se describe a continuación.

También para permitir la interacción del bloque derivado (ΔSpeed) con el saturador en el controlador integral, se pueden establecer umbrales que el error de velocidad y la derivada de velocidad deben superar (tanto positiva como negativamente), la banda inactiva antes mencionada se define simétrica con respecto a las dos diagonales principal y secundaria de la matriz cuadrada.

Un controlador integral I (tiempo discreto), de acuerdo con una variación preferida de la presente invención, puede esquematizarse, con referencia a la figura 3, como una memoria que contiene un valor Int-1 generado por el mismo controlador integral I como en el paso anterior (por lo tanto, "Int-1" indica que se genera en "step-1"), a lo que se añade iterativamente el valor actual del error de velocidad Err, por medio del nodo agregador S3, multiplicado convenientemente por el coeficiente integral KI, por medio del nodo multiplicador M1. El resultado de la suma, llevado a cabo por el nodo agregador S3, representa la salida del controlador integral I, es decir, la señal de control mencionada anteriormente, y simultáneamente la entrada Int-0 de la Memoria (es decir, en el paso "step-0" es decir, el paso actual) que lo almacena para el paso de integración posterior.

El saturador Sat_1, de acuerdo con la presente invención, está dispuesto entre el nodo agregador S3 y la entrada del bloque Memory, de modo que la limitación se realiza no solo en la salida del controlador integral, sino también en el bloque Memory (Memoria) contenido en él.

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

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

Donde:

RadQ representa la raíz cuadrada del operador

Exp representa el exponencial

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

| ΔSpeed | representa el módulo de la derivada de velocidad del motor ΔSpeed ($\Delta\text{Velocidad}$).

K, A y B representan valores constantes.

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

$$\Delta\text{Speed} = \text{Costo} * [(\text{Par motor proporcionado por el motor}) - (\text{Par motor resistente debido a cargas externas})]$$

Donde el Cost (Costo) generalmente es el recíproco del momento de inercia J del motor de combustión interna.

Las cargas externas incluyen, por ejemplo, la pendiente del camino recorrida por el vehículo guiado por el motor de combustión interna o el par motor resistente ofrecido por un generador eléctrico, un compresor o una bomba conectada a una TDF (toma de potencia) relativa.

El bloque CALC basado en las entradas:

Error de velocidad Err

Derivada de velocidad ΔSpeed ($\Delta\text{Velocidad}$),

aplica la fórmula mencionada anteriormente 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 solo se aplica cuando los signos Err y ΔSpeed son discordantes, de lo contrario la señal se satura a +/- 100 % de la autoridad del actuador.

Un segundo saturador Sat_2 se organiza preferentemente entre el nodo multiplicador M1 y el nodo 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 de las saturaciones a la autoridad del actuador son conocidas por una persona experta en la técnica y están sustancialmente destinadas a evitar que se solicite innecesariamente un rendimiento del actuador (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 variación preferida de la invención, la fórmula antes mencionada se implementa en el bloque CALC

mediante una Tabla de búsqueda, con la ventaja de una mayor flexibilidad, ya que permite modificar los coeficientes de la tabla misma, introduciendo desviaciones de la salida de la fórmula antes mencionada, que son más adecuados para el motor de combustión interna específico. Además, la Tabla de búsqueda permite una reducción de la carga informática.

5 A continuación se muestra un ejemplo de *Tabla de consulta* con $|\Delta\text{Speed}|$ y $|\text{Err}|$ como entradas.

Saturación expresada en términos de porcentaje		$ \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

Los valores mostrados en la matriz, por ejemplo 5 x 5, en la tabla anterior son los considerados óptimos para una implementación de la presente invención. Sin embargo, pueden ser apropiadamente variados.

10 Dichos valores son positivos cuando el error Err es negativo y ΔSpeed es positivo, mientras que cada uno de los valores mostrados en la tabla se multiplica por "-1" cuando Err es positivo y ΔSpeed es negativo.

15 En otras palabras, el saturador Sat_1 es simétrico con respecto a cero y cuando el error es negativo y ΔSpeed es positivo, indica la manipulación de la porción superior (positiva) del saturador (limitación superior); a la inversa, cuando Err es positivo y ΔSpeed es negativo, indica la manipulación de la parte inferior (negativa) del saturador (limitación inferior).

20 El método actual se puede implementar ventajosamente mediante una unidad de procesamiento ECU (Engine Control Unit, Unidad de Control del Motor) para controlar el motor de combustión interna, que procesa la información sobre la velocidad del motor y la presión en el pedal del acelerador o las solicitudes de revoluciones o par motor de otros dispositivos y, por lo tanto, controla el motor de combustión interna como se ha descrito anteriormente.

25 La presente invención puede llevarse a cabo ventajosamente a través de un programa informático que comprende medios de codificación para la realización de uno o más pasos del método, cuando este programa se ejecuta en un ordenador. Por consiguiente, se entiende que el ámbito de protección se extiende a dicho programa informático y también a los medios legibles por ordenador que comprenden un mensaje grabado, dichos medios legibles por ordenador que comprenden medios de codificación de programas para la realización de uno o más pasos del método, cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador.

30 Las variaciones de realización del ejemplo no limitante descrito son posibles, sin apartarse del alcance de la presente invención definida por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método de control para un motor de combustión interna realizado mediante un control de retroalimentación de la velocidad del propio 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 donde dicho control comprende una suma (S2) de una contribución proporcional (D) y una contribución integral (I), el método comprende un paso de añadir también una contribución derivada (D) solo cuando ocurre al menos que un primer signo de dicho error y un segundo signo de una derivada de dicha velocidad del motor son concordantes entre sí; **caracterizado porque** comprende además el paso de saturar dicha contribución integral como función de (F(Err, ΔSpeed)):

- una derivada (ΔSpeed) de dicho valor medido de la velocidad (Speed) (Velocidad) del motor, y
- dicho error de velocidad (Err),
cuando dicho primer signo de dicho error y dicho segundo signo de dicha contribución derivada son al menos discordantes entre sí.

2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde dicha contribución derivada (D) se añade cuando dicho error de velocidad excede un primer umbral positivo predeterminado y dicha derivada de velocidad del motor excede un segundo umbral positivo predeterminado o cuando dicho error de velocidad es inferior a un tercer umbral negativo predeterminado y dicha contribución derivada es inferior a un cuarto umbral negativo predeterminado.

3. El método de acuerdo con la reivindicación 2, en donde un módulo de dicho primer umbral y un módulo de dicho tercer umbral coinciden, y en donde un módulo de dicho segundo umbral y un módulo de dicho cuarto umbral coinciden.

4. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicha contribución integral (I) consiste en la suma (S3) de

- un valor de error (Err) calculado en el paso actual, y multiplicado por un coeficiente adicional (KI) y
- un valor de contribución integral (Int-1) generado en el paso inmediatamente anterior,

y en donde dicho saturador (Sat_1) se aplica a dicha suma.

5. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde un valor absoluto de dicha saturación está dado por la siguiente fórmula:

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

Donde:

- RadQ representa la raíz cuadrada del operador
- Exp representa el operador exponencial
- |Err| representa el módulo del error de velocidad Err descrito anteriormente,
- |ΔSpeed| representa el módulo de la derivada de velocidad de la velocidad del motor ΔSpeed (ΔVelocidad) ,
- K, A y B representan valores constantes.

6. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, en donde un valor absoluto de dicha saturación viene dado por una *Look up table* (Tabla de búsqueda) que comprende valores con magnitudes entre 0 y 100 % de un par motor nominal del motor de combustión interna.

7. Un motor de combustión interna que comprende

- un dispositivo para medir una velocidad relativa,
- una unidad de procesamiento (ECU) configurada para controlar dicho motor de combustión interna en base a una señal de referencia de velocidad (Ref), dicha unidad de procesamiento está configurada para llevar a cabo el método de control de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores de 1 a 6.

8. Un vehículo o instalación fija que comprende el motor de combustión interna de acuerdo con la reivindicación 7.

9. Un programa de ordenador que comprende un medio de codificación de programa adaptado para llevar a cabo todos los pasos de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, cuando dicho programa se ejecuta en la unidad de procesamiento del motor de combustión interna de la reivindicación 7.

10. Medios legibles por ordenador que comprenden un programa registrado, dichos medios legibles por ordenador comprenden medios de codificación de programa adaptados para realizar todos los pasos de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, cuando dicho programa se ejecuta en la unidad de procesamiento del motor de combustión interna de la reivindicación 7.

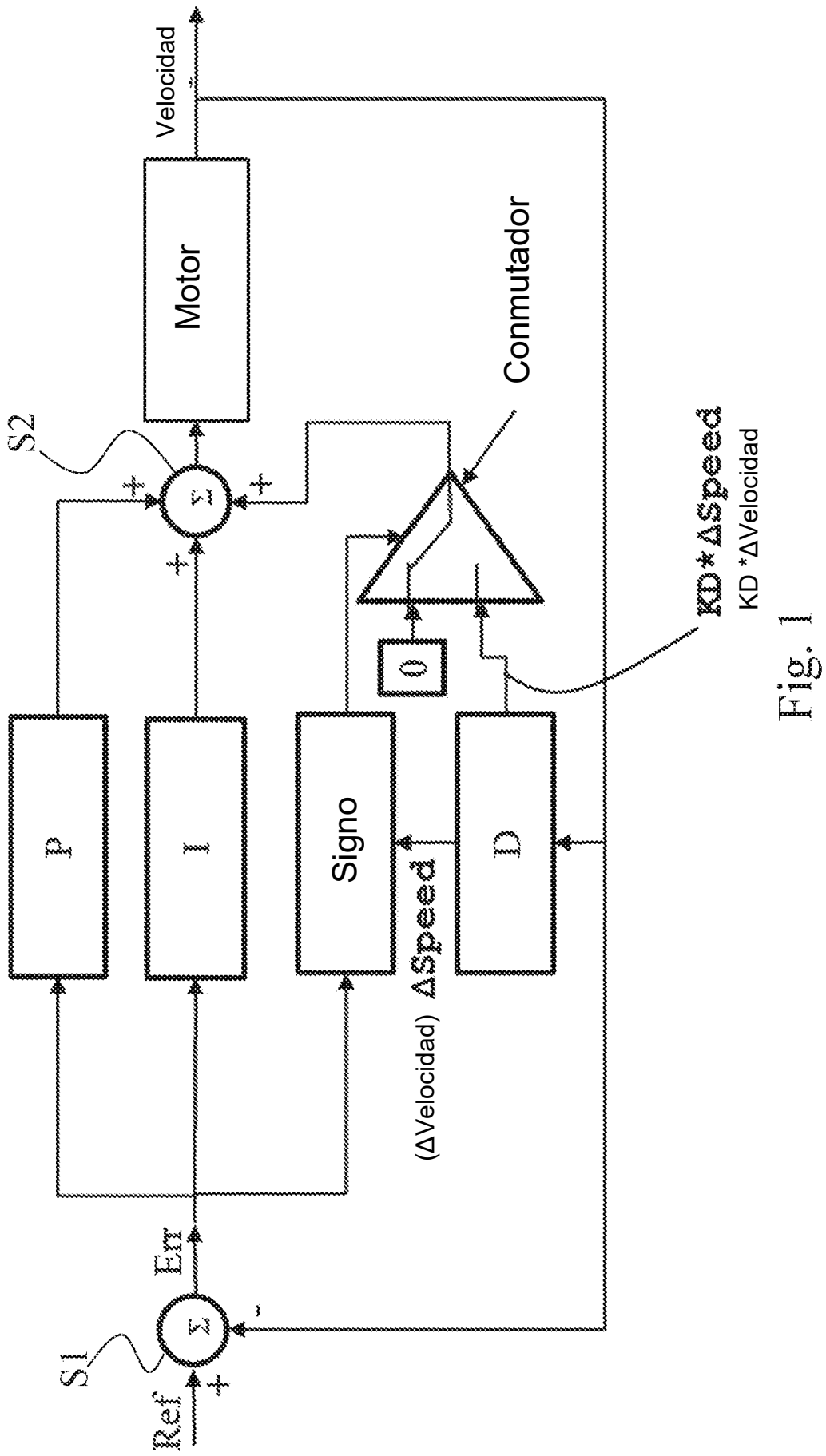


Fig. 1

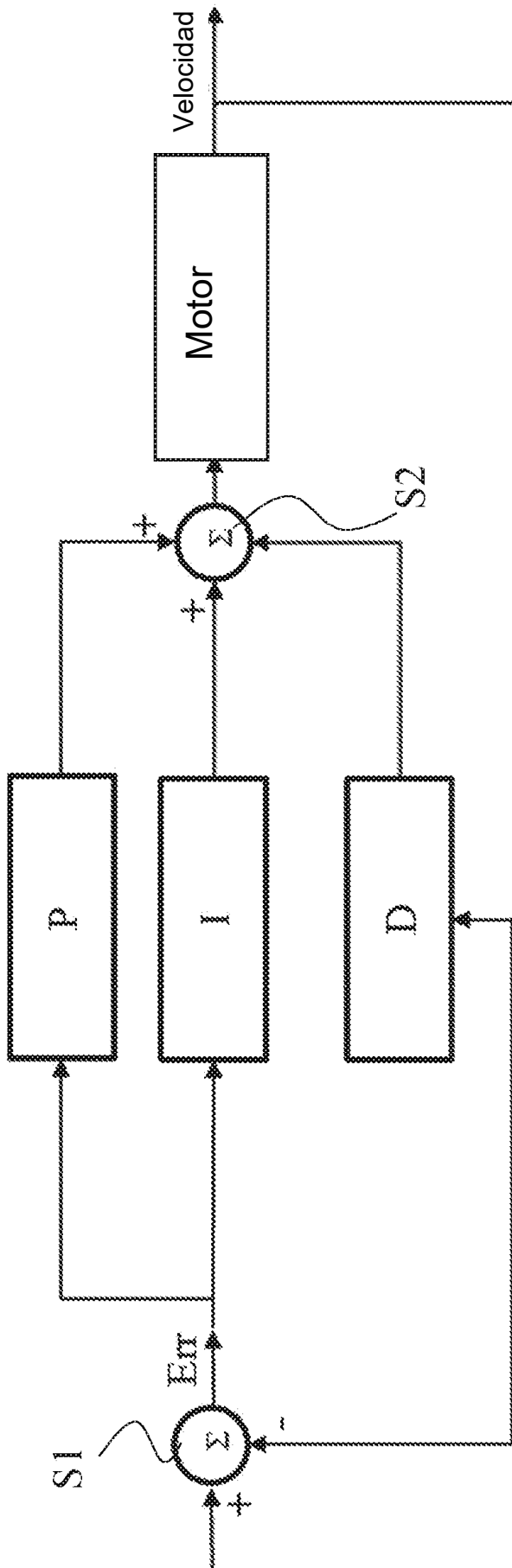


Fig. 2a

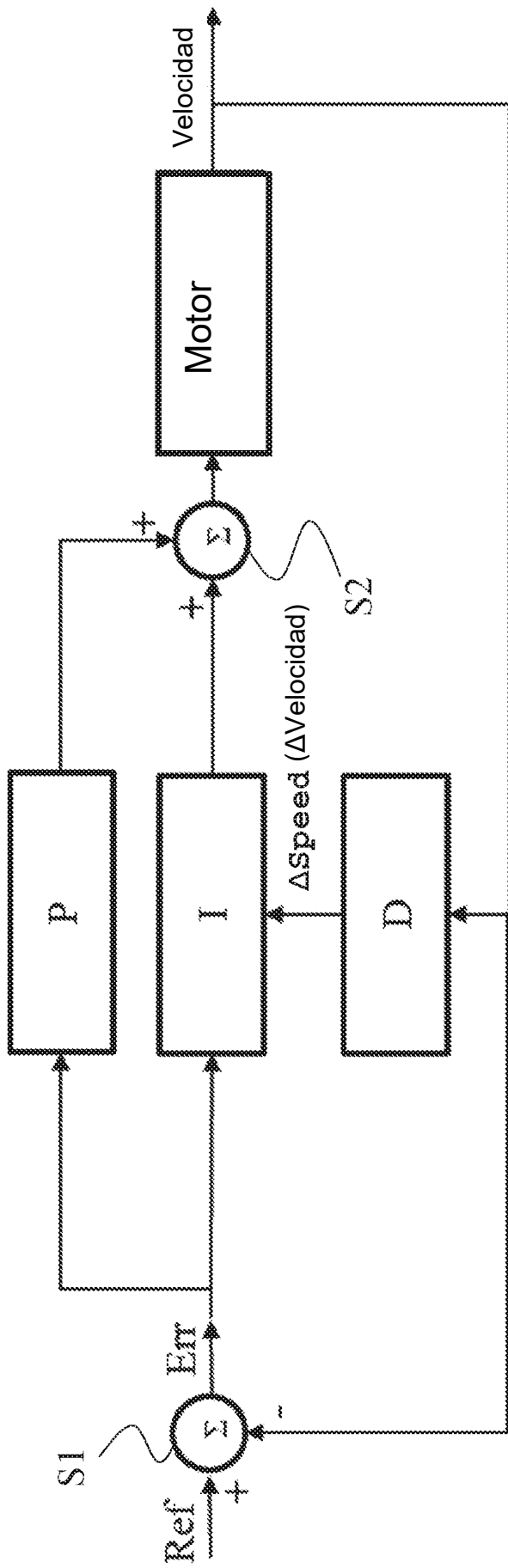


Fig. 2b

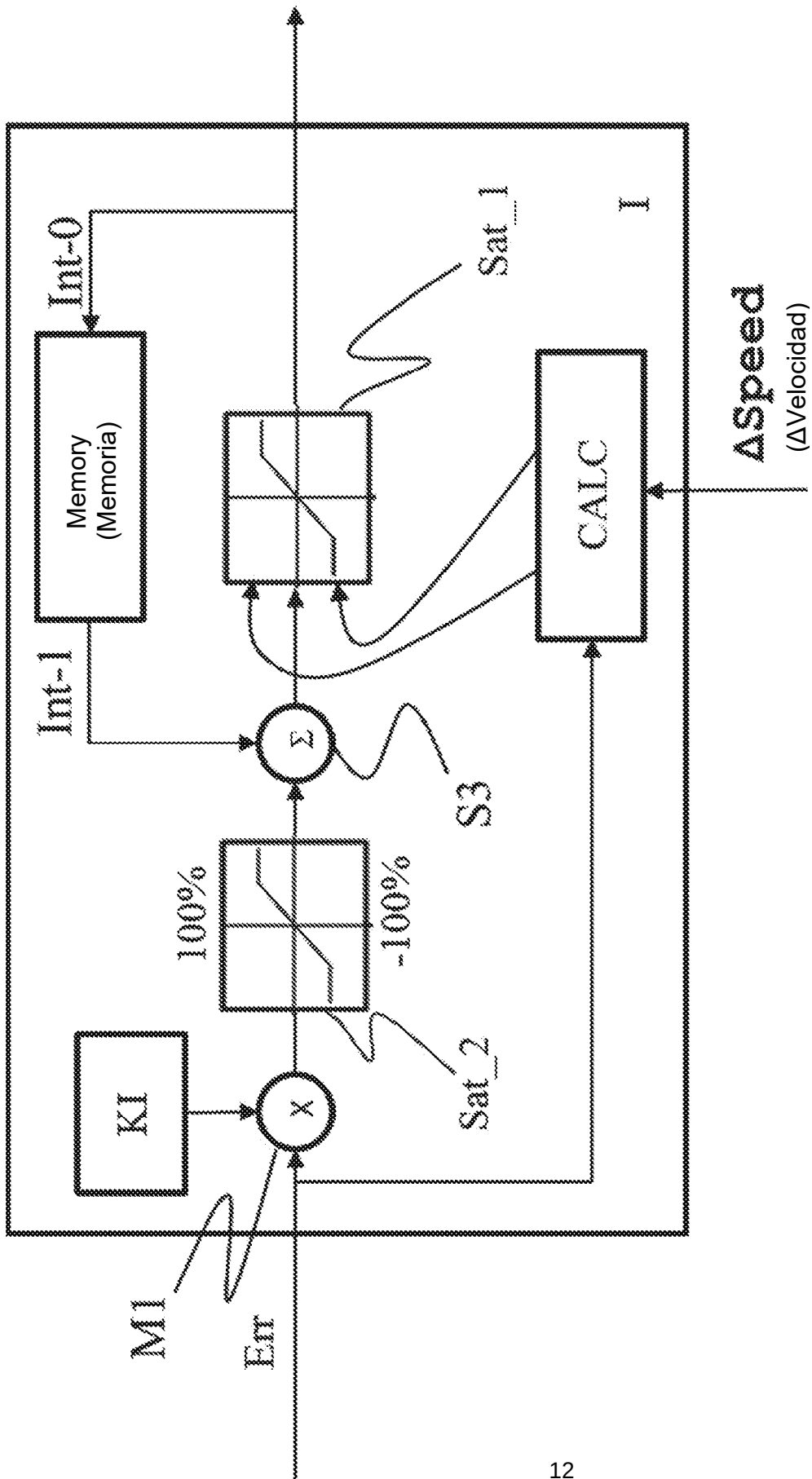


Fig. 3