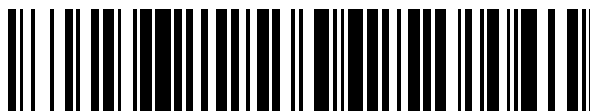


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 758 794**

51 Int. Cl.:

F02D 41/00 (2006.01)

F02D 41/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.12.2009** **E 09180649 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.10.2019** **EP 2339153**

54 Título: **Método y aparato para medir y controlar la tasa de EGR en un motor de combustión**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
06.05.2020

73 Titular/es:

FPT MOTORENFORSCHUNG AG (100.0%)
Schlossgasse 2
9320 Arbon, CH

72 Inventor/es:

AUCKENTHALER, THEOPHIL

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 758 794 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 y aparato para medir y controlar la tasa de EGR en un motor de combustión.

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un método y aparato para medir y controlar la tasa de EGR en un motor de combustión.

Descripción de la técnica anterior.

10 Las emisiones de NOx de un motor de combustión se pueden reducir significativamente utilizando la recirculación (EGR) de gases de escape. El gas de escape se recircula para reducir el contenido de oxígeno del gas de combustión. Esto conduce a una temperatura de llama reducida, que a su vez resulta en menores emisiones de NOx del motor.

Por lo tanto, las emisiones de NOx reaccionan de manera muy sensible a las variaciones de la tasa de EGR.

La tasa de EGR viene dada por la relación de masa entre el gas de escape recirculado y el gas total en el cilindro. Dependiendo del objetivo de emisión, se apuntan tasas de EGR entre 20% y 60%, lo que conduce a un factor de reducción de NOx de aproximadamente 3 a 10 veces.

15 Como el aumento de las tasas de EGR implica mayores emisiones de hollín, a menudo un mayor consumo de combustible y, en general, un mayor desgaste del motor, esta técnica solo debe aplicarse cuando sea necesario.

Por lo tanto, un concepto preciso de detección y control de la tasa de EGR es crucial y necesario para un control preciso y reproducible de las emisiones de NOx.

20 Se conocen varios métodos de medición de flujo másico de EGR o tasa de EGR. Un ejemplo de un método conocido para medir y controlar la tasa de EGR se divulga en el documento WO 2005/111401.

25 El primer método de medición más común es la medición del flujo másico de aire fresco en la entrada del motor. Este flujo másico se resta del flujo másico total del cilindro, que se puede obtener a partir de la presión p2 de aire de refuerzo, la temperatura T2 de aire de refuerzo, la velocidad del motor y también otras cantidades, como se muestra en la Figura 1, por ejemplo, de sensores de velocidad Crs del cigüeñal y velocidad Cas de la leva. El flujo másico resultante es el flujo másico de EGR.

30 El primer problema importante de este concepto es la precisión. El error de medición del flujo másico de aire se amplifica por la relación entre el flujo másico de aire y el flujo másico de EGR. Si, por ejemplo, un flujo másico de aire de 80 kg/h con un error del 10% (es decir, 8 kg/h), y un flujo másico de gas total de 100 kg/h, se obtiene un flujo másico de EGR de 20 kg/h con un error de 8 kg/h, que corresponde a un error relativo del 40%. El segundo problema importante es el retraso de tiempo, que ocurre desde la distancia entre el dispositivo de medición de aire y el cilindro. Para obtener una tasa de EGR precisa también en condiciones transitorias, se debe tener en cuenta el retraso de tiempo, que es una tarea difícil.

35 Una segunda posibilidad es el uso de un dispositivo directo de medición de flujo másico de EGR. Se pueden aplicar diversos principios de medición, tal como la medición de película caliente o la diferencia de presión sobre un tubo de Pitot o un dispositivo Venturi.

40 Desde el punto de vista de la precisión, este enfoque es el más robusto. Sin embargo, la mayoría de los sensores disponibles presentan problemas importantes con el deterioro causado por el entorno agresivo con altas cargas de hollín. Los depósitos de hollín pueden incluso provocar el bloqueo de los elementos sensores. Otro problema es el alto nivel de pulsaciones en la línea de EGR. Estas pulsaciones pueden conducir a errores de medición significativos.

Una tercera posibilidad es la medición de la concentración de oxígeno (O₂ o relación Lambda aire/combustible) en la entrada o salida del motor. A partir de este contenido de oxígeno, la tasa de EGR se puede calcular directamente, si se conoce la cantidad de combustible inyectado y el flujo másico total de gas. Este último se obtiene de p2, T2, la velocidad del motor y también otras cifras, como en el primer método (Figura 1).

45 Para lograr una precisión suficiente de la tasa de EGR, los sensores de oxígeno tienen que ser muy precisos, especialmente si se aplican tasas de EGR bajas, lo cual es común en aplicaciones de servicio pesado. Actualmente, no hay sensores disponibles en el mercado que cumplan con los requisitos de precisión.

50 Una cuarta posibilidad es la medición de dióxido de carbono (CO₂) corriente arriba o corriente abajo de los cilindros, que se aplica ampliamente en bancos de prueba de motores. El cálculo de la tasa de EGR se realiza de manera similar a cuando se usa un sensor de oxígeno.

Aunque es ideal desde el punto de vista de la precisión, actualmente no hay sensores disponibles para aplicaciones móviles.

5 Una quinta posibilidad es la medición de la caída de presión sobre la línea EGR y la temperatura T3 de la turbina corriente arriba. Teniendo en cuenta la posición de la válvula de EGR, el flujo másico de EGR se puede obtener utilizando una ecuación del acelerador.

La característica de resistencia al flujo de la línea de EGR puede cambiar significativamente durante la vida útil debido a depósitos de hollín, ensuciamiento del enfriador de EGR, etc. Además, las características de la válvula de EGR pueden variar significativamente debido a la dispersión de la producción. Por lo tanto, es muy difícil asegurar una tasa de EGR estable durante la vida útil del motor con este principio de medición.

10 Resumen de la invención

Por lo tanto, el objetivo principal de la presente invención es proporcionar un método y un aparato para medir y controlar la tasa de EGR en un motor de combustión que supere los problemas y desventajas anteriores.

15 La idea básica de la invención es la determinación de la tasa de EGR usando sensores de presión y temperatura. En lugar de calcular la tasa de EGR directamente a partir de la caída de presión sobre la línea de EGR, el flujo másico de EGR $[dm_{EGR}]$ se obtiene de la diferencia entre el flujo másico $[dm_{Tot}]$ de gas de escape total a través de los cilindros y el flujo másico $[dm_{Turb}]$ de la turbina a través de la turbina.

Estos y otros objetivos se logran mediante un método y un aparato para medir y controlar la tasa de EGR en un motor de combustión como se describe en las reivindicaciones adjuntas, que forman parte integral de la presente descripción.

20 Breve descripción de los dibujos

La invención quedará completamente clara a partir de la siguiente descripción detallada, dada a modo de ejemplo meramente ilustrativo y no limitativo, que debe leerse con referencia a las figuras de dibujos adjuntas, en donde:

- La Figura 1 muestra un esquema de una parte de un circuito de motor que incluye sensores para la implementación del método de la invención;
- 25 - La figura 2 muestra un diagrama de bloques de un circuito de control para la implementación de una variante del método.

Los mismos numerales y letras de referencia en las figuras designan las mismas partes o partes funcionalmente equivalentes.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

30 La tasa de EGR, o flujo másico de EGR, se determina a partir de la diferencia entre el flujo másico de gas total y el flujo másico de combustible en los cilindros y el flujo másico de gas a través de la turbina.

35 El flujo másico total de gas y el flujo másico de la turbina se obtienen de modelos que utilizan los sensores p2 de presión (presión de aire de impulso), p3 (presión de entrada de la turbina), sensor T2 de temperatura (temperatura de aire de impulso) y , si está disponible, p4 (presión de salida de la turbina) y T3 (temperatura de entrada de la turbina).

La figura 1 muestra los sensores en un esquema conocido de una parte de un circuito de motor, que incluye el motor, un enfriador de EGR, una turbina, donde la salida del enfriador de EGR se lleva a la entrada de los cilindros y la salida de los cilindros se lleva a la turbina y a la entrada del enfriador de EGR a través de una válvula de EGR.

40 Para aumentar la precisión de este concepto de medición, el flujo másico de la turbina se adapta de modo que coincida con el flujo másico total de gas, cuando la válvula EGR está cerrada y, por lo tanto, el flujo másico EGR es cero.

45 La idea básica de la invención es la determinación de la tasa de EGR usando sensores de presión y temperatura. En lugar de calcular la tasa de EGR directamente a partir de la caída de presión sobre la línea de EGR, el flujo másico EGR dm_{EGR} se obtiene indirectamente de la diferencia entre el flujo másico dm_{Tot} de gas de escape total a través de los cilindros y el flujo másico dm_{Turb} de la turbina a través de la turbina.

El flujo másico dm_{Tot} total de gases de escape se obtiene de un modelo, donde la carga total de gas en un cilindro por carrera se calcula usando p2, T2, y posiblemente también p3 y T3. Dichos modelos, que a menudo se denominan "modelos de densidad de velocidad", son ampliamente utilizados y conocidos.

Junto con la velocidad del motor, el flujo másico de gas real puede calcularse a partir de la carga de gas. El flujo másico dm_{Tot} total de gases de escape se obtiene como la suma del flujo másico total de gases y el flujo másico de combustible.

El cálculo del flujo másico dm_{Tot} total de gas se puede hacer aplicando expresiones bien conocidas.

- 5 El flujo másico dm_{Turb} de la turbina se calcula utilizando un modelo.

Si se usa una turbina de geometría fija, el flujo másico dm_{Turb} de la turbina puede obtenerse de las presiones p_3 y p_4 corriente arriba y corriente abajo de la turbina, respectivamente, y de la temperatura T_3 corriente arriba de la turbina. La presión p_3 se obtiene de un sensor, la presión p_4 de un modelo o de un sensor. T_3 generalmente se obtiene de un modelo.

- 10 Si se usa una turbina (VGT) de geometría variable, la posición VGT también debe tenerse en cuenta para la determinación del flujo másico dm_{Turb} de la turbina.

En el caso de una turbina compuerta de descarga, la apertura de la compuerta de descarga también debe tenerse en cuenta para la determinación del flujo másico dm_{Turb} de la turbina.

- 15 El cálculo del flujo másico dm_{Turb} de la turbina se puede realizar aplicando expresiones bien conocidas, por ejemplo, derivadas de un modelo de turbina determinado mediante el uso de una expresión conocida similar a una ecuación del acelerador, como se describe, por ejemplo, en: Guzzella, Onder: " Introduction to Modeling and Control of Internal Combustion Engine Systems ", ISBN3-540-22274-x, Springer-Verlag, Berlín, 2004.

El flujo másico de EGR dm_{EGR} ahora se puede obtener como la diferencia entre el flujo másico dm_{Tot} total de gases de escape y el flujo másico de turbina dm_{Turb} .

$$dm_{EGR} = dm_{Tot} - dm_{Turb}$$

20

Existen varias ventajas al aplicar el método de la invención en comparación con otros métodos:

- La turbina apenas cambia su característica de resistencia al flujo durante la vida útil, al menos mucho menos que la línea EGR.
 - La distancia entre el cilindro y la turbina es muy pequeña en comparación con la que hay entre la entrada del motor y el cilindro. Por lo tanto, no se esperan demoras de transporte significativas, como por ejemplo en un concepto de medición de flujo másico de aire.
 - Un sensor p_3 es potencialmente más barato que los dispositivos de medición de flujo másico.
- 25

La precisión de la determinación de dm_{EGR} de flujo másico de EGR se mejora usando un algoritmo de adaptación. Cuando la válvula EGR está cerrada, el flujo másico de EGR es aproximadamente cero. Aproximadamente cero significa que siempre hay un valor pequeño irrelevante, porque la válvula nunca se cierra por completo.

30

Por lo tanto, el flujo másico dm_{Turb} de la turbina es igual al flujo másico dm_{Tot} total. O bien la válvula EGR se cierra deliberadamente para permitir un procedimiento de adaptación, o se utilizan condiciones donde la válvula se cierra de todos modos, por ejemplo, durante la aceleración. Dado que la turbina y la salida del cilindro están muy cerca, el algoritmo de adaptación incluso se puede aplicar durante la operación transitoria.

- 35 La figura 2 muestra un diagrama de bloques de un ejemplo no limitante del algoritmo de adaptación. Debe ser cualquier algoritmo de adaptación, donde el flujo másico dm_{Turb} de la turbina se ajusta de manera que sea igual al flujo másico dm_{Tot} total del gas de escape cuando la válvula EGR está cerrada.

- 40 El valor de dm_{Turb} se agrega con un valor de compensación de corrección de retroalimentación proveniente de un integrador. El resultado R_1 se resta del valor de dm_{Tot} y se alimenta a la entrada de un bloque de corrección de ganancia, que puede ser un factor que se multiplica por la diferencia entre el flujo másico total y el flujo másico R_1 corregido de la turbina.

La salida de la corrección de ganancia se alimenta al integrador solo si la válvula EGR está cerrada. Si la válvula EGR no está cerrada, la entrada del integrador es cero.

- 45 En posibles variantes del algoritmo de adaptación, en lugar de una compensación de corrección, que se agrega al flujo másico dm_{Turb} de la turbina, también se puede aplicar cualquier otro mecanismo de corrección.

Se puede multiplicar un factor de corrección con el flujo másico dm_{Turb} de la turbina o se puede utilizar cualquier otro cálculo matemático/algebraico, tal como curvas de corrección o mapas de corrección. En lugar de un integrador, también se puede usar una curva de corrección o mapa para calcular la compensación, factor o función de corrección.

El principio principal, sin embargo, permanece, cuando se aplica cualquier corrección de manera que el integrador o mecanismo similar eventualmente fuerce a la turbina y al flujo másico total de gases de escape a ser iguales, cuando la válvula EGR está cerrada.

- 5 Más en general, en caso de presencia de más de una turbina en el sistema del motor, o con estructuras de motor más complicadas, el principio general del método sigue siendo el mismo.

Por ejemplo, con estructuras más complicadas que incluyen al menos dos turbinas, es importante que se determine el flujo másico dm_{Turb} de la turbina de una turbina corriente abajo de la conexión EGR.

Para EGR de alta presión, se debe determinar el flujo másico dm_{Turb} de la turbina de la primera o segunda turbina, para EGR de media presión, el flujo másico dm_{Turb} de la turbina de la segunda turbina.

- 10 El método de la presente invención puede implementarse ventajosamente a través de un programa para ordenador que comprende medios de codificación de programa para la implementación de uno o más pasos del método, cuando este programa se ejecuta en un ordenador. Por lo tanto, se entiende que el alcance de la protección se extiende a dicho programa para ordenador y además de un medio legible por ordenador que tiene un mensaje grabado, dichos medios legibles por ordenador comprenden medios de codificación de programa para la
15 implementación de uno o más pasos de método, cuando este programa se ejecuta en un ordenador .

No se describirán detalles adicionales de implementación, ya que el experto en la materia puede llevar a cabo la invención a partir de la enseñanza de la descripción anterior.

REIVINDICACIONES

1. Método para medir y controlar una tasa de EGR en un sistema de motor de combustión, el sistema comprende al menos un enfriador de EGR, una válvula de EGR y una turbina, el método comprende determinar un flujo másico de EGR ($\dot{m}_{EGR}$) a partir de la diferencia entre un flujo másico ($\dot{m}_{Tot}$) del gas de escape total a través de los cilindros del motor, y un flujo másico ($\dot{m}_{Turb}$) de la turbina a través de la turbina calculado a través de un modelo de turbina, el método comprende un paso de adaptación adicional para ajustar el flujo másico de la turbina para que sea igual al flujo másico del gas de escape total cuando la válvula EGR está cerrada.
2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde dicho flujo másico total de gases de escape se obtiene mediante:
 - una carga total de gas en un cilindro por carrera, calculada usando la presión (p_2) de aire de refuerzo, la temperatura (T_2) del aire de refuerzo en la entrada del motor, y posiblemente la presión (p_3) de entrada de la turbina y la temperatura (T_3) de entrada de la turbina;
 - junto con la velocidad del motor, calcular un flujo másico de gas real a partir de una carga de gas;
 - obtener dicho flujo másico de gas de escape total como la suma del flujo másico de gas total y el flujo másico de combustible.
3. Método de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende los siguientes pasos:
 - agregar o multiplicar dicho valor de flujo másico ($\dot{m}_{Turb}$) de turbina con un valor de corrección de retroalimentación o respectivamente con un factor de corrección de retroalimentación proveniente de un integrador o de una curva de corrección o mapa;
 - agregar el resultado del paso anterior al valor de dicho flujo másico ($\dot{m}_{Tot}$) de gas de escape ;
 - aplicar una corrección de ganancia al resultado del paso anterior;
 - alimentar dicho integrador con el resultado del paso anterior, solo si la válvula EGR está cerrada; si la válvula EGR no está cerrada, la entrada del integrador es cero.
4. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde, en el caso de una turbina de geometría fija, dicho flujo másico de la turbina se obtiene a partir de una presión corriente arriba y corriente abajo de la turbina, respectivamente, y desde una temperatura corriente arriba de la turbina, obteniéndose la presión corriente arriba de un sensor, la presión corriente abajo de un modelo o de un sensor, la temperatura corriente arriba de un sensor o un modelo.
5. Método de acuerdo con la reivindicación 4, en donde dicho flujo másico de la turbina se obtiene a partir de una presión corriente arriba y corriente abajo de la turbina, respectivamente, y a partir de una temperatura corriente arriba de la turbina, obteniéndose la presión corriente arriba de un sensor, la presión corriente abajo desde un modelo o desde un sensor, la temperatura corriente arriba desde un sensor o un modelo y en donde dicha turbina tiene una turbina (VGT) de geometría variable, teniendo en cuenta también la posición VGT para la determinación de dicho flujo másico de la turbina.
6. Método de acuerdo con las reivindicaciones 4 o 5, en donde la turbina está provista de una válvula de compuerta de descarga, teniendo en cuenta la abertura de la compuerta de descarga para la determinación de dicho flujo másico de la turbina.
7. Método de acuerdo con la reivindicación 4, en donde, en el caso de más de una turbina, se determina el flujo másico de la turbina de una turbina corriente abajo de una conexión EGR.
8. Método de acuerdo con la reivindicación 7, en donde, para EGR de alta presión, se determina el flujo másico de la turbina de la primera o segunda turbina, para EGR de presión media, se determina el flujo másico de la turbina de la segunda turbina.
9. Aparatos para medir y controlar una tasa de EGR en un sistema de motor de combustión, el sistema del motor comprende al menos un enfriador de EGR, una válvula de EGR y una turbina, el aparato comprende sensores de presión y temperatura, dispuestos en la entrada del motor y en la salida de motor, antes de la turbina, y medios adaptados para implementar un método de acuerdo con la reivindicación 1.
10. Vehículo que comprende un aparato para medir y controlar la tasa de EGR en un sistema de motor de combustión, como en la reivindicación 9.
11. Programa de ordenador que comprende medios de código de programa de ordenador con medios adaptados para realizar todos los pasos de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, cuando dicho programa se ejecuta en un aparato de acuerdo con la reivindicación 9.

12. Medio legible por ordenador que tiene un programa grabado en él, dicho medio legible por ordenador que comprende medios de código de programa de ordenador adaptados para realizar todos los pasos de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, cuando dicho programa se ejecuta en un aparato de acuerdo con la reivindicación 9.

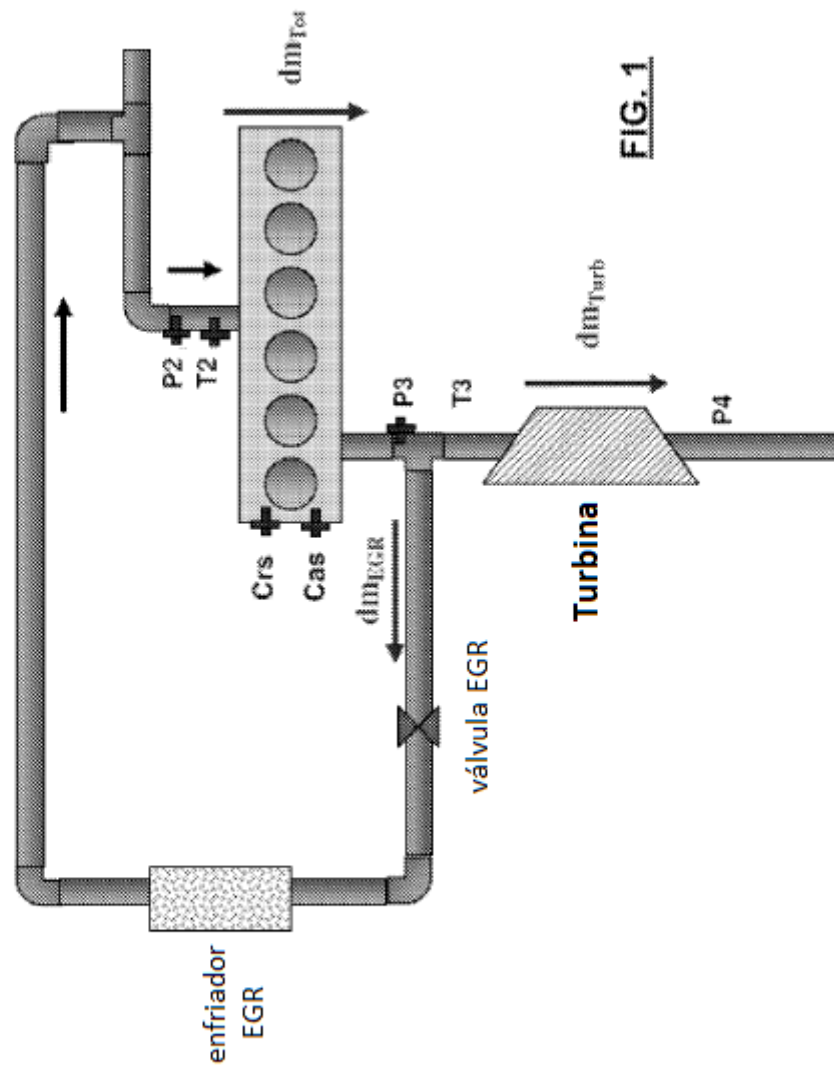


FIG. 1

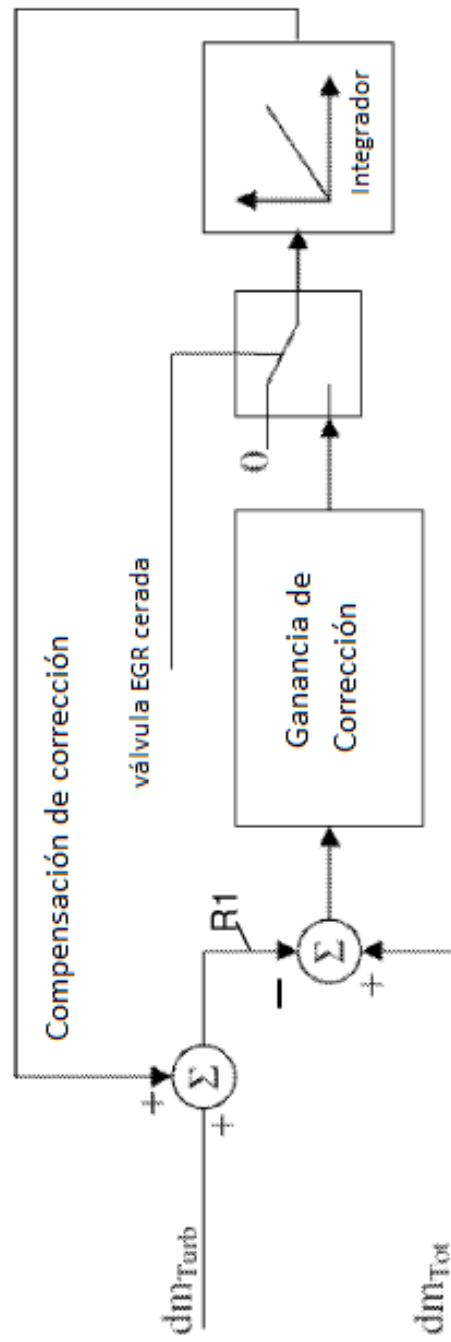


FIG. 2