

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 751 354**

51 Int. Cl.:

F02D 41/00 (2006.01)

F02D 41/14 (2006.01)

F02D 41/24 (2006.01)

F02D 21/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.12.2010 PCT/EP2010/007735**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.07.2011 WO11082801**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2010 E 10803372 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2019 EP 2513457**

54 Título: **Procedimiento para la recirculación de gas de escape**

30 Prioridad:

17.12.2009 DE 102009058713

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

31.03.2020

73 Titular/es:

**DEUTZ AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Ottostrasse 1
51149 Köln, DE**

72 Inventor/es:

FRIESEN, ANDREAS

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 751 354 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

Procedimiento para la recirculación de gas de escape

- Para el cumplimiento de los valores límite de emisión de NOx para etapas de emisión actuales y futuras se emplea, entre otros, el procedimiento de recirculación de gas de escape (AGR), conocido, entre otros, por Lexikon Motortechnik, edición 1, abril 2004, páginas 14 y siguientes, por el documento WO2008/131789A1 o por el documento DE 10000339 A1, en el que se emplean un sensor de NOx real y uno virtual. Es decir, el gas de escape del motor se enfría mediante un sistema previsto a tal efecto y se alimenta de nuevo al sistema de admisión del motor en cantidades definidas. La emisión de NOx se puede reducir significativamente de este modo, aumentando tendencialmente las emisiones de partículas de manera simultánea. Los bajos valores límite para emisiones de NOx y partículas obligan a los fabricantes de motores a ajustar sus motores de modo que los valores límite prescritos sean apenas inferiores. Simultáneamente se debe asegurar que la modificación de los componentes del sistema debida al envejecimiento y su control en serie no conduzca al rebase de los valores límite. Un modo de proceder razonable que resulta de ello es regular las emisiones de NOx al valor necesario con ayuda de AGR. Para la regulación de emisiones de NOx es necesario un ajuste lo más exacto posible de NOx emitido. No obstante, todos los sensores de NOx disponibles en el mercado para el empleo en motores en serie son apropiados solo para la medida, o bien regulación de emisiones de NOx en funcionamiento de motor estacionario, y no para procesos transitorios. El motivo consiste en el tiempo muerto, o bien de retraso, relativamente largo, que tienen estos sensores en comparación con las modificaciones de índice de revoluciones y carga en el funcionamiento de motor transitorio. En la técnica de regulación, se denomina tiempo muerto (también llamado período o tiempo de transporte) el intervalo de tiempo entre modificación en la entrada del sistema y respuesta en la salida del sistema de un tramo de regulación. Se denomina tiempo de retraso, por ejemplo, la constante de filtración de un filtro PT1. Para contemplar este problema, la emisión de NOx en el funcionamiento transitorio se estima por medio de una relación matemática a partir de diferentes magnitudes. Ya que todos los componentes y todas las instalaciones de medición de este sistema están sujetos a tolerancias de error y a efectos de envejecimiento, es necesario corregir la instalación de estimación individualmente para cada motor en el período. La corrección tiene lugar durante estados de funcionamiento estacionarios con ayuda de los valores de NOx medidos correctamente de manera estacionaria a través del sensor de NOx, que se comparan con los de la instalación de estimación. Desviaciones estacionarias entre valor de sensor y valor estimado tienen igualmente por consecuencia una desviación de las emisiones en el mismo sentido.
- La instalación de estimación de NOx, o también el modelo físico, está constituido por campos característicos y algoritmos, que posibilitan concluir sobre la verdadera emisión de NOx a partir de valores de medición actuales (diversos sensores en el motor) y los valores de referencia formados en los campos característicos, también durante el funcionamiento del motor transitorio. Por consiguiente, la regulación de NOx es posible también durante procesos no estacionarios.
- Si el estado de funcionamiento del motor es casi estacionario, el valor de la instalación de estimación se compara con el del sensor de NOx. En el caso de una desviación, los valores de referencia de la instalación de estimación se corrigen de modo que las emisiones de NOx deseadas se mantienen exactamente en el ámbito de una exactitud de medición del sensor de NOx. Este valor de corrección se debe almacenar ahora para este punto de funcionamiento, para tener un efecto corrector también en el funcionamiento de motor transitorio, en el que el sensor de NOx no proporciona a su vez valores fiables.
- Este almacenamiento del valor de corrección como campo característico, dependiente del punto de funcionamiento, se realiza con el método descrito a continuación. Mediante la corrección de este tipo se contrarresta de manera efectiva la modificación de emisión de NOx debida al envejecimiento y un control de serie demasiado amplio.
- En aplicaciones técnicas, los estados, o bien valores dependientes del punto de funcionamiento, se determinan frecuentemente en función de una o varias variables. Un método para describir matemáticamente y almacenar tal relación es un campo característico respectivamente con un eje para la dependencia de las variables iniciales y una matriz para la variable de partida. En aplicaciones en tiempo real apoyadas por procesador, los ejes poseen un número predefinido de puntos de apoyo para la respectiva variable inicial. En este caso, los valores de los puntos de apoyo deben ser estrictamente monótonos. La dimensión $n * m$ de la matriz de partida se determina mediante el número n de puntos de apoyo del eje i y el número m de puntos de apoyo del eje y . De este modo, a cada par de valor de punto de apoyo x y valor de punto de apoyo y se puede asignar claramente un elemento de la matriz de partida. Los emparejamientos de los valores iniciales x e y se denominan punto de funcionamiento. El ajuste de parámetros de tales campos característicos se efectúa generalmente mediante medición en banco de ensayo, en el laboratorio, o también con valores calculados. En este caso, los puntos de funcionamiento se seleccionan de modo que los valores de puntos de apoyo individuales se obtienen exactamente mediante las variables iniciales y , por consiguiente, solo es determinante del valor un elemento de la matriz de partida. En el ejemplo representado en la

Figura 4, la variable inicial x tiene el valor "90" y la variable inicial y tiene el valor "400". El elemento, con el valor determinante del valor, de la matriz de partida tiene el valor "5", como se representa en la Figura 4.

Si ahora las variables de entrada tienen valores que no se cubren exactamente con los valores de los puntos de apoyo, sino que se sitúan entre los mismos (por ejemplo $x = 80,2$ e $y = 1787$), el correspondiente valor de partida ($z = 7,103$) se debe determinar mediante interpolación lineal. El valor buscado se calcula a partir de los cuatro valores de matriz de partida que rodean el punto de funcionamiento, como se representa en la Figura 5. Es decir, la ponderación de los cuatro valores aislados es dependiente de la respectiva distancia al punto de funcionamiento.

Los elementos de superficie representan las zonas que se producen mediante la interpolación lineal. Por el contrario, las intersecciones de líneas entre sí y las intersecciones de líneas con los ejes muestran los elementos individuales de la matriz de partida.

La problemática en el almacenamiento del valor de corrección para el valor de referencia empleado por el dispositivo de estimación consiste ahora en que el valor de error determinado no se puede asignar directamente a un elemento de la matriz de partida, ya que las variables iniciales no se sitúan generalmente en un valor de punto de apoyo. Por lo tanto se buscan valores razonables para aquellos elementos de la matriz de partida que rodean el punto de funcionamiento actual. Para un punto de funcionamiento con el correspondiente valor de partida se pueden encontrar combinaciones de valores teóricamente ilimitadas para los elementos individuales, que representan el valor de partida en una interpolación lineal. Por lo tanto, el planteamiento del problema se concentra en primer lugar en encontrar la combinación de valores que representen una aproximación óptima del respectivo valor de corrección también para los demás puntos de funcionamiento dentro de los mismos elementos de la matriz de partida.

La determinación de los valores de los elementos en cuestión se puede efectuar directamente en el primer paso sin necesidad de corrección adicional solo en casos excepcionales. Por regla general, los valores determinados previamente se deben corregir de nuevo en el caso de un desplazamiento del punto de funcionamiento, para que el nuevo valor se forme asimismo exactamente.

En este caso, la modificación de los valores de elementos de la matriz de partida se aplica de modo que el elemento con la máxima ponderación para el respectivo punto de funcionamiento experimenta también la máxima modificación. Análogamente, el elemento con la mínima ponderación experimenta también la mínima modificación. Por lo tanto, los nuevos valores para los elementos de la matriz de partida se determinan no solo en dependencia del nuevo valor, sino también en dependencia del pasado. De este modo, el campo característico aprende la corrección necesaria de la instalación de estimación bajo consideración de todas las situaciones previas.

Las siguientes ecuaciones describen matemáticamente el contexto de aprendizaje.

Descripción matemática de la adaptación

Identificación de los elementos de matriz de partida

En las siguientes explicaciones se presupone que a , b , c y d , o bien \hat{a} , \hat{b} , \hat{c} y \hat{d} son aquellos elementos de la matriz de partida que rodean el punto de funcionamiento actual. Cada elemento de la matriz de partida puede tener influencia sobre el valor de partida. El mismo elemento puede no participar en absoluto, ya que no rodea directamente el punto de operación en cuestión, o también puede participar como a , b , c o d en la interpolación. Por lo tanto, es absolutamente necesaria una clara identificación del elemento como a , b , c o d según punto de funcionamiento para que el valor correcto se pueda almacenar en el correspondiente elemento. Esta identificación de los elementos se puede efectuar mediante la comparación entre el índice de filas y columnas de los elementos. Para la interpolación, los elementos correspondientes se identifican de por sí con su factor de peso. También es sabido qué elementos participan en la interpolación. Para el procedimiento descrito a continuación se debe investigar aún si un elemento participa como a , b , c o d .

En este caso se considera el elemento $a_{j,k}$:

Caso 1: además de $a_{j,k}$, en la Figura 4 también los elementos $a_{j,k+1}$, $a_{j+1,k}$ y $a_{j+1,k+1}$ participan en la interpolación → $a_{j,k} = a$

ES 2 751 354 T3

y\lx	20	50	60	70	90	100	150
100	2	5	2	5	2	5	20
200	3	6	3	6	3	6	30
300	4	7	4	7	4	7	40
400	5	8	5	8	$a_{j,k}=5$	8	50
500	6	9	6	9	6	9	60
800	7	10	7	10	7	10	70
1500	8	5	8	5	8	5	80
2000	9	4	9	4	9	4	90
3000	10	3	10	3	10	3	100

Figura 4: representación esquemática del caso 1

Caso 2: además de $a_{j,k}$, en la Figura 5 también los elementos $a_{j,k-1}$, $a_{j+1,k}$ y $a_{j+1,k-1}$ participan en la interpolación $\rightarrow a_{j,k}=b$

y\lx	20	50	60	70	90	100	150
100	2	5	2	5	2	5	20
200	3	6	3	6	3	6	30
300	4	7	4	7	4	7	40
400	5	8	5	8	$a_{j,k}=5$	8	50
500	6	9	6	9	6	9	60
800	7	10	7	10	7	10	70
1500	8	5	8	5	8	5	80
2000	9	4	9	4	9	4	90
3000	10	3	10	3	10	3	100

5

Figura 5: representación esquemática del caso 2

Caso 3: además de $a_{j,k}$, en la Figura 6 también los elementos $a_{j-1,k}$, $a_{j-1,k+1}$ y $a_{j,k+1}$ participan en la interpolación $\rightarrow a_{j,k}=c$

10

y\lx	20	50	60	70	90	100	150
100	2	5	2	5	2	5	20
200	3	6	3	6	3	6	30
300	4	7	4	7	4	7	40
400	5	8	5	8	$a_{j,k}=5$	8	50
500	6	9	6	9	6	9	60
800	7	10	7	10	7	10	70
1500	8	5	8	5	8	5	80
2000	9	4	9	4	9	4	90
3000	10	3	10	3	10	3	100

Figura 6: representación esquemática del caso 3

Caso 4: además de $a_{j,k}$, en la Figura 7 también los elementos $a_{j,k-1}$, $a_{j-1,k}$ y $a_{j-1,k-1}$ participan en la interpolación $\rightarrow a_{j,k}=d$

15

y\x	20	50	60	70	90	100	150
100	2	5	2	5	2	5	20
200	3	6	3	6	3	6	30
300	4	7	4	7	4	7	40
400	5	8	5	8	$a_{j,k}=5$	8	50
500	6	9	6	9	6	9	60
800	7	10	7	10	7	10	70
1500	8	5	8	5	8	5	80
2000	9	4	9	4	9	4	90
3000	10	3	10	3	10	3	100

Figura 7: representación esquemática del caso 4

Si ninguno de estos casos es aplicable, $a_{j,k}$ ni a , b , c ni d participan en el proceso de aprendizaje actual.

Ecuaciones para la adaptación de la matriz de partida

- 5 Las ecuaciones para la determinación de los factores de ponderación ga , gb , gc y gd se suponen conocidos generalmente y no se indican por separado.

El "antiguo" valor de partida se determina a partir de los elementos de matriz de partida "antiguos" individuales a , b , c y d con los factores de ponderación ga , gb , gc y gd de la siguiente manera (interpolación lineal):

$$Z = a \times ga + b \times gb + c \times gc + d \times gd \quad (6.1)$$

- 10 El "nuevo" valor de partida \hat{Z} se determina a partir de los "nuevos" elementos de matriz de partida \hat{a} , \hat{b} , \hat{c} y \hat{d} con los factores de ponderación ga , gb , gc y gd de la siguiente manera (interpolación lineal):

$$\hat{Z} = \hat{a} \times ga + \hat{b} \times gb + \hat{c} \times gc + \hat{d} \times gd \quad (6.2)$$

Los "nuevos" valores de los elementos de matriz de partida se determinan en este caso de la siguiente manera:

15 $\hat{a} = a + \Delta a \quad (6.3)$

$\hat{b} = b + \Delta b \quad (6.4)$

$\hat{c} = c + \Delta c \quad (6.5)$

20 $\hat{d} = d + \Delta d \quad (6.6)$

se define como la suma de la modificación realizada en los antiguos valores:

$$\Delta G = \Delta a + \Delta b + \Delta c + \Delta d \quad (6.7)$$

- 25 El objetivo de efectuar la magnitud de modificación de valores en los elementos de matriz de partida en dependencia de la altura de ponderación para la interpolación se describe en las siguientes ecuaciones:

$$\Delta a = ga \times \Delta \hat{G} \quad (6.8)$$

$$\Delta b = gb \times \Delta \hat{G} \quad (6.9)$$

$$\Delta c = gc \Delta G \tag{6.10}$$

$$\Delta d = gd \Delta G \tag{6.11}$$

La diferencia del valor de partida $\Delta Z = \dot{z} - z$ se puede describir también con la siguiente ecuación.

$$\Delta Z = ga \times \Delta a + gb \times \Delta b + gc \times \Delta c + gd \times \Delta d \tag{6.12}$$

5 Mediante empleo de las ecuaciones (6.8) a (6.11) en la ecuación (6.12) se obtiene finalmente:

$$\Delta G = \frac{\Delta Z}{(ga)^2 + (gb)^2 + (gc)^2 + (gd)^2} \tag{6.13}$$

De este modo, ahora se pueden determinar Δa , Δb , Δc y Δd finalmente también \hat{a} , \hat{b} , \hat{c} y \hat{d} .

10 En la Figura 1 se representa un motor de combustión 1, que presenta una válvula AGR 2, que está dispuesta entre el sistema de admisión y el sistema de escape de gas del motor de combustión 1. Además, el motor de combustión 1 presenta una válvula de mariposa 3 en el sistema de admisión.

15 En el sistema de escape de gas del motor de combustión 1 se encuentra un tubo de escape, o bien filtro de partículas y/o un catalizador. En el sistema de gas de escape, en especial en la zona del filtro de partículas, se encuentra un sensor de NOx 5. Un dispositivo de regulación 6 comunica con la válvula AGR 2, la válvula de mariposa 3, el sensor de NOx 5 y el modelo físico 7, así como el módulo de corrección 10 y la interfaz de datos 11.

La Figura 2 muestra un motor de combustión 1 con refrigerante de aire de carga 8, refrigerante AGR 9 y un turbocompresor 12. El motor de combustión 1 presenta una válvula AGR 2, que está dispuesta entre el sistema de succión y el sistema de escape de gas del motor de combustión 1. Además, el motor de combustión 1 presenta una válvula de mariposa 3 en el sistema de admisión.

20 En el sistema de escape de gas del motor de combustión 1 se encuentra un tubo de escape, o bien filtro de partículas y/o un catalizador. En el sistema de gas de escape, en especial en la zona del filtro de partículas, se encuentra un sensor de NOx 5. Un dispositivo de regulación 6 comunica con la válvula AGR 2, la válvula de mariposa 3, el sensor de NOx 5 y el modelo físico 7, así como el módulo de corrección 10 y la interfaz de datos 11.

Signos de fórmula

$a_{j,k}$	Elemento j,k de la matriz de partida
a	Elemento que envuelve el punto de funcionamiento a de la matriz de partida
b	Elemento que envuelve el punto de funcionamiento b de la matriz de partida
c	Elemento que envuelve el punto de funcionamiento c de la matriz de partida
d	Elemento que envuelve el punto de funcionamiento d de la matriz de partida
\hat{a}	Valor resultante para el elemento que envuelve el punto de funcionamiento a de la matriz de partida
\hat{b}	Valor resultante para el elemento que envuelve el punto de funcionamiento b de la matriz de partida
\hat{c}	Valor resultante para el elemento que envuelve el punto de funcionamiento b de la matriz de partida
\hat{d}	Valor resultante para el elemento que envuelve el punto de funcionamiento d de la matriz de partida
Δa	Diferencia del valor resultante y el valor actual para el elemento que envuelve el punto de funcionamiento a de la matriz de partida
Δb	Diferencia del valor resultante y el valor actual para el elemento que envuelve el punto de funcionamiento b de la matriz de partida
Δc	Diferencia del valor resultante y el valor actual para el elemento que envuelve el punto de funcionamiento c de la matriz de partida

Δd	Diferencia del valor resultante y el valor actual para el elemento que envuelve el punto de funcionamiento d de la matriz de partida
ga	Factor de peso para el elemento a
gb	Factor de peso para el elemento b
gc	Factor de peso para el elemento c
gd	Factor de peso para el elemento d
ΔG	Suma de Δa , Δb , Δc y Δd
x	Variable de entrada para \bar{x}
y	Variable de entrada para \bar{y}
\bar{x}	Eje x
\bar{y}	Eje y
\bar{z}	Matriz para valores de partida (matriz de partida)
Z	Valor interpolado de la matriz de partida
\hat{z}	Valor interpolado de elementos resultantes de la matriz de partida
ΔZ	Diferencia de \hat{z} y Z

Lista de signos de referencia

- | | | |
|----|----|---|
| | 1 | Motor de combustión |
| | 2 | Válvula AGRI |
| 5 | 3 | Válvula de mariposa |
| | 4 | Tubo de escape, o bien filtro de partículas o catalizador |
| | 5 | Sensor de NOx |
| | 6 | Dispositivo regulador |
| | 7 | Modelo físico |
| 10 | 8 | Refrigerante de aire de carga |
| | 9 | Refrigerante AGR |
| | 10 | Módulo de corrección |
| | 11 | Interfaz de datos |
| 15 | 12 | Turbocompresor |

REIVINDICACIONES

- 1.- Procedimiento para la recirculación de gas de escape (AGR), en especial en motores de combustión, para la reducción de la emisión de NOx, controlándose una válvula AGR (2) y/o una válvula de mariposa (3), en el que, durante un determinado intervalo de tiempo tras determinación de un valor de NOx, para la determinación de los valores para el control de la válvula AGR (2) y/o de la válvula de mariposa (3) se recurre a un modelo matemático en el que entran los valores de NOx determinados actualmente, el intervalo de tiempo que transcurre desde el final de la medición de NOx y los parámetros del motor de combustión (1) relevantes para la reducción de NOx, estimándose la emisión de NOx en el funcionamiento transitorio por medio de una relación matemática a partir de diferentes magnitudes, caracterizado por que el actual estado del contenido en NOx, o bien la actual proporción de NOx en el gas de escape, se determina y se almacena por medio de un modelo físico (7) del motor de combustión (1), accionándose el modelo físico (7) paralelamente al modelo matemático, y seleccionando el dispositivo de regulación (6) la mínima predicción de NOx del modelo matemático o del modelo físico en dependencia del estado de funcionamiento del motor de combustión, y transformándose en señales de control correspondientes, en especial para la válvula AGR 2 y la válvula de mariposa 3.
- 2.- Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que el intervalo de tiempo determinado es el tiempo que transcurre una vez concluida una medición de NOx precedente, antes de que se aplique el proceso de regulación.
- 3.- Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que el intervalo de tiempo se define como $t = \text{tiempo muerto} + 5 \text{ tiempo de retraso}$.
- 4.- Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que esencialmente todos los valores de medición específicos del motor disponibles se registran y se almacenan en el modelo físico (4) en dependencia de todos los parámetros de funcionamiento disponibles.
- 5.- Procedimiento según una o varias de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el dispositivo de regulación (6) compara constantemente el modelo matemático con el físico en dependencia del estado de funcionamiento del motor de combustión.
- 6.- Procedimiento según una o varias de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el dispositivo de regulación (6) compara y/o almacena constantemente la predicción de NOx del modelo matemático o del físico en dependencia del estado de funcionamiento del motor de combustión.
- 7.- Procedimiento según una o varias de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que se intercambian datos del modelo físico con un sistema experto externo por medio de una interfaz de datos (11).
- 8.- Motor de combustión interna que comprende al menos un sistema de escape de gas y al menos un sistema de admisión, al menos una válvula AGR (2) y/o una válvula de mariposa (3), al menos un tubo de escape (4), al menos un sensor de NOx (5) y al menos un dispositivo de regulación (6), que realiza todos los pasos del procedimiento según la reivindicación 1.

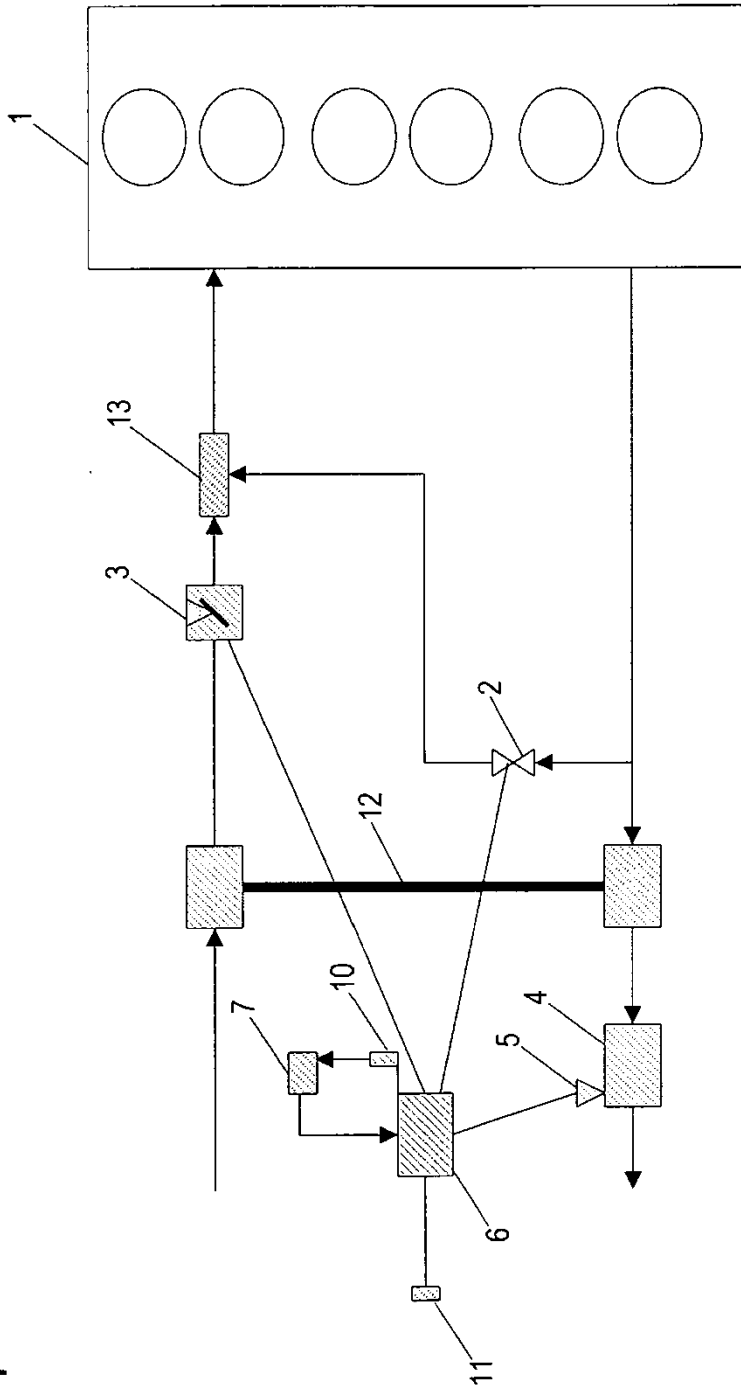


Fig. 1

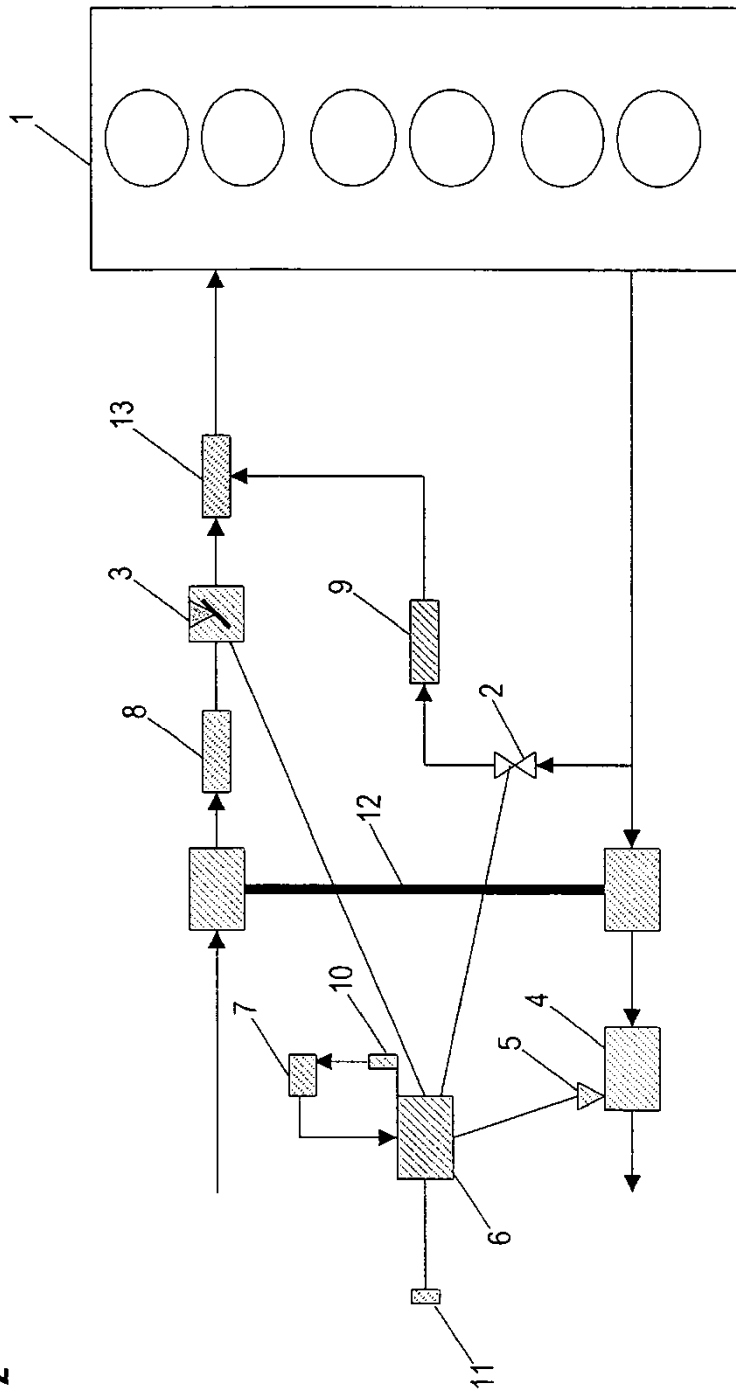


Fig. 2