(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 531 164**

(51) Int. Cl.:

F01N 3/20 (2006.01)
F01N 3/035 (2006.01)
F02D 41/00 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.02.2008** **E 08712736 (1)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.01.2015** **EP 2126297**

(54) Título: **Método de trabajo de un sistema de tratamiento final de gases de escape y sistema de tratamiento final de gases de escape**

(30) Prioridad:

21.02.2007 SE 0700438

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.03.2015

(73) Titular/es:

VOLVO LASTVAGNAR AB (100.0%)
405 08 Göteborg, SE

(72) Inventor/es:

ANDERSSON, LENNART;
EDVARDSSON, JONAS;
JANSSON, JONAS;
KARLSSON, CARL-JOHAN;
MEGAS, LUCAS y
TUOMIVAARA, ANDERS

(74) Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 531 164 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 trabajo de un sistema de tratamiento final de gases de escape y sistema de tratamiento final de gases de escape

La invención se refiere a un método de trabajo de un sistema de tratamiento final de gases de escape y a un sistema de tratamiento final de gases de escape con arreglo al preámbulo de las reivindicaciones independientes.

Tanto las partículas de carbón como los óxidos de nitrógeno, por ejemplo el NO y el NO_2, también llamados NO_x, son emisiones típicas de los gases de escape de motores diesel. Las exigencias de reducir tales emisiones están aumentando y se han puesto en marcha estrategias técnicas para reducir las emisiones. En la patente europea EP 1 054 722 B1 se describe un sistema de tratamiento final de gases de escape que en el tubo de escape combina un filtro de partículas que recoge la carbonilla y con los catalizadores que reducen los óxidos de nitrógeno. Para eliminar la carbonilla se genera el NO_2 por oxidación de NO en un catalizador de oxidación. La carbonilla que se recoge en el filtro de partículas se oxida por acción del NO_2. Las cantidades residuales de NO y NO_2 de los gases de escape se reducen a gas nitrógeno en un catalizador de reducción catalítica selectiva (catalizador SCR) por inyección de amoníaco en dicho catalizador SCR. Se ajusta la proporción entre el NO_2 y el NO en los gases de escape empleando un catalizador de oxidación apropiado para actuar como catalizador SCR particular. Por ejemplo, los catalizadores de oxidación Pt/Al_2O_3 con diferentes contenidos de Pt producen diferentes proporciones NO_2/NO. En el caso de un catalizador SCR de metal/zeolita, todo el NO debería oxidarse a NO_2 y en el caso de un catalizador SCR basado en tierras raras es deseable una proporción alta NO_2/NO, mientras que en el caso de los catalizadores SCR basados en metales de transición se prefiere la generación de mezclas de NO_2 y NO en lugar de los gases NO_2 o NO puros o predominantes.

El diseño del catalizador de oxidación por lo general ha de encontrar un compromiso entre la combustión pasiva óptima de la carbonilla en el filtro de partículas y la conversión óptima del NO y del NO_2 en el catalizador SCR. Por ejemplo, para ciertas cargas del motor solo se oxida una cantidad insuficiente de NO a NO_2, de ello resulta que el filtro de partículas se llenará de carbonilla y que la eficacia del catalizador SCR será baja, debido al exceso de NO. Para otras cargas del motor, la formación de NO_2 en el catalizador de oxidación será excesivamente alta, esto se traduce en un exceso de NO_2 en la unidad SCR, resultando de ello emisiones de NO_2 y de N_2O. La composición de los gases de escape varía mucho según las diferentes cargas del motor. Los procesos concomitantes recién descritos dan pie solamente a un estrecho intervalo satisfactorio de oxidación de la carbonilla y de conversión simultánea del NO_x con respecto a la carga del motor y de las cantidades variables resultantes de los diferentes tipos de componentes de los gases de escape.

En el documento DE 10 2005 035 555 A1 se describe un gas de escape después del sistema de tratamiento, formado por lo general por un catalizador de oxidación, un catalizador SCR y un filtro de partículas. Con el fin de controlar el funcionamiento del escape después del sistema de tratamiento se calcula el contenido de NO_x o se mide directamente en la entrada del catalizador SCR, y en base a este contenido y a la temperatura del catalizador SCR se controla un pasadizo de desvío (by-pass), que está adaptado para dejar que los gases de escape puedan pasar sin contacto con el catalizador de oxidación, si fuera necesario.

Es objeto de la invención el proporcionar un método mejorado de trabajo de un sistema de tratamiento final de gases de escape para un amplio intervalo de cargas de motor y de composiciones de gases de escape. Otro objeto de la invención consiste en proporcionar un sistema mejorado de tratamiento final de gases de escape, que pueda procesar los gases de escape producidos durante un amplio abanico de cargas de motor y composiciones de gases de escape.

Estos objetos de alcanzan con las características de las reivindicaciones independientes. Las demás reivindicaciones y la descripción definen las formas de ejecución ventajosas de la invención.

Según un primer aspecto de la invención se propone un método para el funcionamiento de un sistema de tratamiento final de gases de escape de un motor, en especial de un motor diesel, en el que uno o más componentes de los gases de escape se oxidan en un catalizador de oxidación y uno o más componentes de los gases de escape se desoxidan mediante un grupo de posibles reacciones químicas de diferentes tipos entre uno o más componentes de los gases de escape y el material catalítico dispuesto dentro del catalizador de reducción catalítica selectiva, en el que los gases de escape fluyen desde el catalizador de oxidación hacia el catalizador de reducción catalítica selectiva (SCR). El catalizador de oxidación puede ser un dispositivo separado o puede formar parte de un filtro de partículas diesel. Según la invención por lo menos se ajusta una relación o proporción deseada entre uno o más pares de uno o más componentes variando la velocidad espacial de los gases de escape en por lo menos el catalizador de oxidación; la velocidad espacial de los gases de escape se altera variando uno o más parámetros del funcionamiento del motor; y se establece la relación con un valor por aproximación por lo menos con la relación deseada entre uno o más pares de uno o más componentes en la entrada del catalizador de reducción catalítica selectiva.

De modo favorable es posible proporcionar en muchas condiciones de carga del motor una mezcla de gases de escape al catalizador SCR que permita la eliminación rápida y eficaz de los óxidos de nitrógeno de los gases de escape, al tiempo que se produce el NO_2 para oxidar la carbonilla atrapada en un filtro de partículas del tubo de salida de los gases de escape.

En general, en el diseño de un reactor químico, la velocidad espacial representa la relación entre el caudal volumétrico de alimentación y el volumen del reactor. La velocidad espacial indica cuántos volúmenes de reactor de alimentación pueden tratarse en una unidad de tiempo. Es posible cambiar el caudal de los gases de escape variando el caudal de entrada de aire, que consume el motor.

Si puede establecerse la relación deseada entre los componentes de los gases de escape, se podrá intentar establecer la relación entre los componentes de tal manera que para una temperatura de reacción dada en el catalizador SCR se seleccione una reacción química específica entre el grupo de reacciones químicas posibles que pueden tener lugar entre los componentes de los gases de escape y el material del catalizador SCR, con lo cual la reacción química específica seleccionada tendrá una mayor probabilidad de realizarse que cualquier otra de las demás reacciones químicas.

Con preferencia, la velocidad espacial de los gases de escape puede alterarse variando el caudal de aire que entra en el motor. Existe un gran número de medidas posibles para variar el caudal de entrada de aire, que pueden aplicarse a título individual o en una combinación apropiada por lo menos de dos de tales medidas:

Es posible variar el caudal de entrada de aire variando la presión de entrada adoptando por lo menos una de estas medidas: ajustar la geometría de la turbina variable del caudal de entrada de aire, ajustar el regulador (de mariposa) del caudal de entrada de aire. Si se aplica una presión más alta, entonces se produce una mayor cantidad de gases de escape.

Como alternativa o de modo adicional, el caudal de entrada de aire puede alterarse variando una o más válvulas de entrada del motor. Cerrando una válvula de entrada, cuando el pistón se halla casi en lo más alto de su carrera, se tiene menos aire, si se compara con el cierre de la válvula cuando el pistón se halla próximo a su posición más baja. Como alternativa o de modo adicional, el caudal de entrada de aire can puede alterarse variando la cantidad de gases de escape en la recirculación de los mismos. El aumento de la cantidad de gases de escape en recirculación se traduce en menos aire fresco en el escape.

Cerca de las condiciones de carga máxima del motor hay solamente un espacio mínimo para variar el flujo de entrada de aire, ya que se necesita un caudal máximo de aire para conseguir una buena combustión del gasóleo que se ya introducido en el motor. Por otro lado, la temperatura la temperatura normalmente es suficientemente alta para que el NO_2 y el NO alcancen el equilibrio en el catalizador de oxidación con independencia de la velocidad espacial de los gases de escape. Para las condiciones de carga más baja del motor, entonces hay más espacio para cambiar el caudal de entrada de aire con una combustión satisfactoriamente buena. La variación del caudal de entrada de aire puede cambiar el contenido de NO_x y de carbonilla y la temperatura de los gases de escape así como el consumo de gasóleo del motor. Las variaciones del NO_x y de carbonilla pueden ajustarse fácilmente a los niveles apropiados en función del catalizador SCR y del filtro de partículas cambiando los tiempos de inyección del gasóleo en el motor. Además es preferible mantener el consumo de gasóleo y las emisiones en un nivel satisfactorio cuando se altera el caudal de entrada de aire ajustando los parámetros apropiados del motor, por ejemplo los tiempos de inyección de carburante y/o la presión de los inyectores de gasóleo.

De modo favorable, la relación deseada entre uno o más componentes es aquella proporción de NO_2/NO próxima a 1 y con preferencia no superior a 1, en especial una proporción de NO_2/NO = 0,8 ± 0,2, con preferencia NO_2/NO = 0,9 ± 0,1, con preferencia especial NO_2/NO = 0,951 ± 0,05. Si se elige la proporción próxima a 1, entonces es posible desencadenar una reacción química rápida y muy eficaz, que reduce el NO y también el NO_2 y el NH_3 a N_2 gas y agua en presencia del catalizador SCR. Esta reacción es favorable para un amplio intervalo de temperaturas de gases de escape, inferiores a 200ºC y superiores. Otras reacciones químicas son posibles en función de la cantidad de NO_2 y NO, es decir, de la proporción de NO_2/NO presente en el catalizador SCR. No obstante, estas reacciones normalmente son más lentas y tienden a competir con las reacciones que producen N_2O y similares. De modo favorable, la eficacia de la reducción catalítica selectiva de los componentes de los gases de escape puede optimizarse si al mismo tiempo se aplican buenas condiciones de funcionamiento para el filtro de partículas situado en posición anterior al catalizador SCR. El filtro de partículas se coloca con preferencia entre el catalizador de oxidación y el catalizador SCR. Como alternativa o de modo adicional, el catalizador de oxidación puede integrarse por lo menos parcialmente en el filtro de partículas como recubrimiento del catalizador de oxidación. La región operativa, en la que el sistema de tratamiento final de gases de escape trabaja bien, puede ampliarse si se compara con el sistema de la técnica anterior, que trabaja bien solamente en la proximidad de unos pocos puntos de funcionamiento del motor. El método permite un tratamiento final eficaz de los gases de escape en lo relativo al coste, al empaquetado y a la durabilidad (vida en servicio).

Además, la velocidad espacial puede variarse controlando el caudal de los gases de escape que pasan por el catalizador de oxidación, lo cual puede hacerse empleando un desvío externo y/o un desvío interno dentro del

catalizador de oxidación, que permita variar la distribución de flujo hacia el catalizador. La distribución de flujo puede variarse p. ej. cubriendo partes del catalizador y bloqueando de este modo el catalizador frente de los gases de escape, empleando guías de flujo para dirigir los gases de escape y/o para abrir válvulas que cubran los puertos de entrada y/o de salida del catalizador de oxidación. Esto puede combinarse también con una distribución no uniforme del material catalíticamente activo dentro del catalizador para seguir aumento el efecto. En general puede proporcionarse un desvío externo combinado con la posibilidad de variar la velocidad espacial del flujo de los gases de escape.

Con preferencia, la relación entre uno o más componentes se establece en función de la cantidad de carbonilla contenida en el filtro de partículas dispuesto antes del catalizador de reducción catalítica selectiva.

Según un desarrollo preferido, la relación entre los componentes puede establecer de modo adicional o alternativo en función de la cantidad de carbonilla contenida en el filtro de partículas dispuesto entre el catalizador de oxidación y el catalizador SCR. El NO_2 generado en el catalizador de oxidación oxida la carbonilla atrapada en el filtro de partículas. La cantidad de NO_2 requerido varía con la cantidad de carbonilla del filtro de partículas. De modo ventajoso, la relación entre los componentes puede establecer en función de la cantidad de NO_2 generada en el filtro de partículas. El filtro de partículas puede estar formado un catalizador de oxidación y producir de este modo el NO_2, que viene a sumarse al NO_2 generado en el catalizador de oxidación.

Con arreglo a otro desarrollo preferido, de modo adicional o alternativo, la relación entre los componentes se establece en función de la cantidad de NO_2 generado en el catalizador de oxidación y/o sobre el recubrimiento catalítico del filtro de partículas. El catalizador de oxidación puede generar NO_2 no solo para la oxidación pasiva de la carbonilla en el filtro de partículas sino también para la reducción catalítica selectiva en el catalizador SCR. El NO_2 generado en el filtro de partículas se hace reaccionar de nuevo con el NO de la carbonilla de modo que la cantidad de NO_2 y de NO formados en el filtro de partículas dependa en gran manera de la condición del filtro de partículas, p. ej. de la cantidad de carbonilla y de la temperatura de reacción, es decir, de la temperatura de los gases de escape, con lo cual la reacción química específica elegida tiene mayor probabilidad de llevarse a cabo que cualquier otra reacción individual de las demás reacciones químicas.

De modo adicional o alternativo puede establecerse la relación entre los componentes en función de la cantidad de azufre que se adsorbed en el catalizador de oxidación y/o en el recubrimiento catalítico de oxidación del filtro de partículas. El catalizador de oxidación absorbe azufre cuando la temperatura de los gases de escape es más baja y suelta el azufre a temperaturas superiores a 350ºC. Si las condiciones de funcionamiento del motor dejan que el catalizador de oxidación adsorba una gran cantidad de azufre contenido en los gases de escape, entonces se envenenará el catalizador de oxidación y cesará la formación de NO_2.

De manera favorable y de modo adicional o alternativo puede establecerse la relación entre los componentes en función de la cantidad de amoníaco proporcionado por el catalizador SCR. En el catalizador SCR, el amoníaco reacciona con el NO_x para formar nitrógeno. En los vehículos se inyecta urea a los gases de escape y debido a la temperatura de dichos gases de escape se termoliza y/o se hidroliza la urea formando amoníaco en los gases de escape y en el catalizador.

Según otro aspecto de la invención, el sistema de tratamiento final de gases de escape formado por lo menos por un catalizador de oxidación y por un catalizador de reducción catalítica selectiva dispuesto en el tubo de escape de un motor, que funciona con arreglo al método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que puede ajustarse por lo menos la relación deseada entre uno o más pares de uno o más componentes variando la velocidad espacial de los gases de escape por lo menos en el catalizador de oxidación; la velocidad espacial de los gases de escape puede alterarse variando uno o más parámetros de funcionamiento del motor; y la relación puede establecerse en un valor que por lo menos se aproxime a la relación deseada entre uno o más pares de uno o más componentes de la entrada del catalizador de reducción catalítica selectiva.

La velocidad espacial de los gases de escape del catalizador de oxidación y/o la porción de gases de escape puede alimentarse al tubo de desvío y la porción de gases de escape que puede alimentarse al catalizador de oxidación pueden controlarse en función de los parámetros de funcionamiento del motor y/o de los parámetros operativos de uno o más catalizadores existentes en el sistema de tratamiento final de gases de escape. Por lo tanto, el sensor del NO_x o del NO_2 puede reemplazarse por un sensor virtual que se base en el modelo de motor y en el sistema de tratamiento final de gases de escape para calcular los parámetros relevantes, en especial el contenido de NO_2 y de NO de los gases de escape en la entrada del catalizador SCR. Con preferencia, los parámetros estarán disponibles, por ejemplo el caudal de los gases de escape, las temperaturas en el catalizador de oxidación y en el filtro de partículas, el caudal de NO y de NO_2 desde el motor, el flujo de carbonilla desde el motor y/o la carga de carbonilla en el filtro de partículas. Algunos de los parámetros pueden medirse y otros parámetros pueden calcularse mediante otros sensores y los parámetros de motor.

Con preferencia puede colocarse el filtro de partículas antes del catalizador de reducción catalítica selectiva. En especial, el filtro de partículas puede colocarse después del catalizador de oxidación y/o puede estar formado por el recubrimiento del catalizador de oxidación.

Según otro aspecto de la invención se propone un programa informático almacenable en un medio, que puede leerse con un ordenador, dicho programa está formado por un código de programa para emplear en el método que consta por lo menos de los pasos de ajustar por lo menos una relación deseada entre uno o más pares de uno o más componentes variando la velocidad espacial de los gases de escape por lo menos en un dispositivo catalizador de oxidación; de variar la velocidad espacial de los gases de escape alterando por lo menos uno o más parámetros operativos del motor; y de establecer la relación con un valor que por lo menos se aproximada a la relación deseada entre uno o más pares de uno o más componentes en la entrada de un catalizador de reducción catalítica selectiva.

La presente invención junto con los objetos y ventajas mencionados previamente y otros adicionales podrán comprenderse de mejor manera a partir de la siguiente descripción detallada de las formas de ejecución, pero no se limita a dichas formas de ejecución, en las que se representa esquemáticamente lo siguiente.

La figura 1 representa un motor preferido, que contiene una recirculación de los gases de escape.
La figura 2 es la representación esquemática de un sistema preferido de tratamiento final de gases de escape según la invención.
La figura 3 representa una forma de ejecución preferida de un sistema de tratamiento final de gases de escape.
La figura 4 es una gráfica que representa las relaciones de NO_2/NO_x en función de la temperatura después de la unidad DPF con diferentes cargas de carbonilla y de azufre.

En las figuras, los elementos iguales o similares se marcan con números de referencia iguales. Las figuras son representaciones meramente esquemáticas, que no se pretende que definan los parámetros específicos de la invención. Además, las figuras se presentan para mostrar solamente formas de ejecución típicas de la invención y por lo tanto no deberían considerarse como limitaciones del alcance de la invención.

En la figura 1 se representa esquemáticamente un motor diesel preferido 100 con un tubo de escape 14 para la descarga de los productos de la combustión del motor 100 y una entrada de flujo de aire 110 en la alimentación de aire 101 para oxidar el carburante diesel. Previo al motor 100 se dispone un dispositivo de presión 104, por ejemplo un compresor, que da presión al aire de la entrada. Un regulador (mariposa) 105 puede colocarse antes del dispositivo de presión 104 para permitir que en la admisión de aire 101 haya una presión inferior a la atmósfera. Se proporciona una recirculación de gases de escape 106 para introducir los gases de escape en la admisión de aire, después del dispositivo de presión 104. El aire entra en los cilindros del motor por las válvulas de admisión (no representadas), se mezcla con el carburante y se quema. Los gases de escape pasan por las válvulas de expulsión (no representadas) y salen por el colector de gases de escape 102. Una parte de los gases de escape del colector 102 se recircula mediante la recirculación de gases de escape 106 y se envía al colector de admisión 101. Una parte de la energía de escape puede utilizarse normalmente en la turbina 103, en especial una turbina de geometría variable. Normalmente la turbina 103 está conectada mecánicamente con el dispositivo de presión 104. El cambio de la geometría de la turbina se traduce en un cambio de la presión en el colector de admisión 102. Las válvulas de admisión y las válvulas de expulsión del motor 100 tienen normalmente tiempos de abertura y de cierre fijos (que guardan relación con los movimientos de los pistones), pero pueden disponerse de manera que tengan tiempos p. ej. de cierre flexibles que permitan ajustar la cantidad de aire que se introduce en los cilindros. Normalmente estas características se emplean para permitir que llegue aire suficiente al proceso de combustión y también permitir que se apliquen diferentes tipos de condiciones de combustión (p. ej. combustión rica, HCCI (homogeneous charge compression ignition), etc.).

Variando el caudal de aire de la admisión 110 puede cambiarse la velocidad espacial de los gases de escape descargados al tubo de escape 14. Se produce una reacción catalítica entre los componentes de los gases de escape y el catalizador, que depende de la velocidad espacial de los gases de escape en dicho catalizador. Por lo tanto, los componentes de los gases de escape que salen del catalizador después de la reacción catalítica variarán si varía el caudal de aire de la admisión 110.

La representación esquemática de un sistema de tratamiento final de gases de escape preferido 10 se ilustra en la figura 2, en la que en el tubo de escape 14 después del motor 100 se han colocado un catalizador de oxidación 20, un filtro de partículas 60 y un catalizador SCR 70.

El catalizador de oxidación 20 puede estar recubierto normalmente con un material catalíticamente activo y se instala para oxidar uno o más componentes de los gases de escape, por ejemplo los hidrocarburos (HC), el monóxido de carbono (CO) y el monóxido de nitrógeno (NO). La eficacia de la oxidación dependerá de la temperatura de reacción, es decir, de la temperatura de los gases de escape, de la velocidad de los gases de escape en el catalizador de oxidación 20 y de la composición de los gases de escape. La temperatura en el tubo de escape 14, es decir, en el catalizador de oxidación 20, el filtro de partículas 60 y el catalizador SCR 70, puede controlarse con medidas (no representadas) ya conocidas en la técnica, por ejemplo la inyección de HC en los gases de escape, las post-inyecciones posteriores en el motor 100, que proporcionan un quemador catalítico o de llama y similares, p. ej. para favorecer la regeneración del filtro de partículas 60, para controlar la actividad del catalizador de oxidación 20 y para lograr temperaturas favorables para la reducción catalítica selectiva en el catalizador SCR 70.

Además, la inyección de HC puede realizarse para controlar el contenido de NO_2 en el sistema de tratamiento final de gases de escape 10.

El catalizador de oxidación 20 se emplea con preferencia para generar una cantidad suficiente de NO_2 para la oxidación pasiva de carbonilla atrapada en el filtro de partículas 60 con arreglo a la reacción:

(R1) $NO + 1/2\ O_2 \rightarrow NO_2$.

Se puede influir en la cantidad de NO_2 de los gases de escape variando el caudal de aire de admisión 110. Si los gases de escape circulan con una velocidad espacial alta, entonces se generará menos NO_2, si los gases de escape circulan con una velocidad espacial baja, entonces se generará más NO_2.

La principal función del filtro de partículas 60 consiste en atrapar el material dividido en partículas, por ejemplo la carbonilla y las cenizas existentes en los gases de escape. Un sistema vehicular típico de tratamiento final de gases de escape 10 requiere un trayecto de uno a varios 100 000 km para que el filtro de partículas 60 se llene de cenizas y las cenizas del filtro de partículas 60 pueden vaciarse desmontando el filtro de partículas 60 en el taller de servicio. Para que el filtro de partículas 60 se llene de carbonilla se necesita solo un trayecto de uno a varios 1000 km. Sin embargo, la carbonilla puede quemarse para formar CO_2, lo cual puede realizarse durante el funcionamiento del vehículo.

Para algunas aplicaciones puede ser beneficioso recubrir el filtro de partículas 60 con un material catalíticamente activo que aporte las propiedades de un catalizador de oxidación al filtro de partículas 60. Para el funcionamiento correcto del filtro de partículas 60 se recomienda controlar la cantidad de carbonilla atrapada en el filtro de partículas 60. La regeneración del filtro de partículas 60 puede realizarse de varias maneras, ya conocidas en la técnica. Con preferencia se puede utilizar el NO_2 para la oxidación pasiva de la carbonilla atrapada con arreglo a la reacción siguiente:

(R2) $2\ NO_2 + C \rightarrow 2\ NO + CO_2$.

Para que la regeneración pasiva sea eficaz es necesario establecer la temperatura de los gases de escape y situarla por encima de un límite crítico, con preferencia superior a 250ºC y proporcionar una cantidad adecuada de NO_2. La cantidad de NO_2 en los gases de escape introducidos en el filtro de partículas 60 puede aumentarse gracias al catalizador de oxidación 20 que oxida el NO a NO_2.

En función de las emisiones del motor 100 en forma de carbonilla y NO_x (NO_x = NO, NO_2), la combustión pasiva de la carbonilla podrá mantener bajo el nivel de dicha carbonilla en el filtro de partículas 60 cuando la temperatura de los gases de escape es inferior a 250ºC. No obstante, para algunas emisiones del motor la relación de NO_x / carbonilla es demasiado baja para quemar la carbonilla con el NO_2. Como alternativa a la combustión pasiva de la carbonilla, dicha carbonilla podrá eliminarse quemándola con oxígeno a temperaturas elevadas, con preferencia en torno a 600ºC. Esto puede realizarse colocando un quemador en el sistema de tratamiento final de gases de escape 10 o añadiendo gasóleo a los gases de escape que se queman en un catalizador de oxidación previo al filtro de partículas 60. La activación del quemador o la adición de carburante se realizan en una fase de regeneración, que normalmente durará unos pocos minutos y que, sin embargo, puede prolongarse hasta 30 min o incluso más, si fuera necesario.

Después del filtro de partículas 60 y antes del catalizador SCR 70, los gases de escape contienen uno o más componentes del tipo NO y NO_2, que pueden desoxidarse en el catalizador SCR 70.

La principal misión del catalizador SCR 70 es reducir el NO_x, es decir, el NO y el NO_2, con un reductor para formar nitrógeno gas N_2 y agua H_2O. En el catalizador SCR 70, el amoníaco NH_3 reacciona con NO_x para formar nitrógeno. Normalmente, en los vehículos se inyecta la urea a los gases de escape y gracias a la temperatura de los gases de escape se termoliza o se hidroliza la urea formando el NH_3 en los gases de escape y el catalizador 70. El reductor, p. ej. el NH_3 o la urea, se añade a los gases de escape antes del catalizador SCR 70, por ejemplo mediante el inyector 62 (indicado mediante una flecha ancha antes del catalizador SCR 70). La eficacia del catalizador SCR 70 depende en gran manera de la temperatura de los gases de escape, la velocidad espacial de los gases de escape y de la relación NO_2/NO de los gases de escape, que entran el catalizador SCR 70.

En función del tipo de NO_x son posibles tres reacciones químicas principales:

(R3) $4\ NO + 4\ NH_3 + O_2 \rightarrow 4\ N_2 + 6\ H_2O$

(R4) $NO + NO_2 + 2\ NH_3 \rightarrow 2\ N_2 + 3\ H_2O$

(R5) $6\ NO_2 + 8\ NH_3 \rightarrow 7\ N_2 + 12\ H_2O$

La reacción (R4), es decir, cuando los gases de escape contienen NO_2 y NO en cantidades iguales o por lo menos casi iguales, tiene una eficacia máxima y se realiza de modo eficaz a partir de temperaturas de gases de escape inferiores a 200ºC y superiores. La reacción (R3), es decir, cuando el NO_x de los gases de escape está formado principalmente por NO, se realiza de modo eficaz a 300ºC y en cuanto a la reacción (R5), es decir, el NO_x de los gases de escape está formado principalmente por NO_2, la eficacia es menor que para la reacción (R3) en un catalizador SCR basado en el vanadio, mientras que en un catalizador basado en la zeolita es más eficaz que la reacción (R3) pero menos eficaz que la reacción (R4). Además en los catalizadores basados en la zeolita tiene lugar una reacción desfavorable que compite con la reacción (R5) y que genera el gas N_2O que favorece el efecto invernadero:

$$\text{(R6)} \quad 4\ NO_2 + 4\ NH_3 \rightarrow 2\ N_2O + 2\ N_2 + 6\ H_2O.$$

Por lo tanto, para lograr una eficacia elevada es ventajosa una relación NO_2/NO_x de 0,5 (es decir, una relación NO_2/NO de 1) dentro del catalizador SCR 70, al tiempo que debería evitarse una relación de NO_2/NO más elevada, debido a la eficacia más baja del catalizador de vanadio o para evitar la formación del N_2O en caso de emplearse la zeolita. Además, la regeneración pasiva del filtro de partículas 60 saca partido de una concentración elevada de NO_2. Por lo tanto, la relación ideal de NO_2/NO es 1, de modo que es favorable una relación por lo menos próxima a 1 y con preferencia que no supere al 1, es decir, se elige en especial una relación de $NO_2/NO = 0{,}8 \pm 0{,}2$, con preferencia $NO_2/NO = 0{,}9 \pm 0{,}1$, con preferencia especial $NO_2/NO = 0{,}95 \pm 0{,}05$. Si la relación NO_2/NO es próxima a 1, entonces la reacción (b) tendrá la máxima probabilidad de llevarse a cabo.

Tal como se desprende de la figura 4, la formación de NO_2 dependerá del caudal másico de los gases de escape, en este caudal puede influir el caudal de entrada de aire 110, y de la temperatura del catalizador de oxidación 20. En la figura 4 se ilustra la relación NO_2/NO_x como función de la temperatura de reacción en el catalizador de oxidación 20 después del catalizador de oxidación 20 y el filtro de partículas 60. Aparte de la dependencia del caudal y de la temperatura, el catalizador de oxidación 20 adsorbe azufre, que puede estar presente en los gases de escape, a temperaturas más bajas y puede soltar el azufre a temperaturas superiores a 350ºC. Si las condiciones de conducción permitan al catalizador de oxidación 20 adsorber una gran cantidad de azufre, entonces se envenenará el catalizador y se impedirá la formación de NO_2. El contenido de NO_2 después del filtro de partículas 60 dependerá también del estado en que se halle el filtro de partículas 60. El filtro de partículas 60 puede tener un catalizador de oxidación recubierto, de modo que en él se produzca también la formación de NO_2. Entonces el NO_2 reacciona de nuevo para formar el NO en la carbonilla y esto dependerá de la cantidad de carbonilla en el filtro de partículas 60 y de la temperatura.

La curva A ilustra en especial la dependencia de la relación NO_2/NO_x de la temperatura con una carga baja de carbonilla en el filtro de partículas 60, que indica un máximo en torno a 0,75 entre 250ºC y 300ºC. La curva B representa un caudal alto de gases de escape y una carga baja de carbonilla que indica un máximo situado en un valor más bajo, en torno a 0,6, para una temperatura más elevada, en torno a 300ºC, que la curva A.

La curva C representa una carga elevada de carbonilla en el filtro de partículas 60, lo cual indica un máximo situado en un valor incluso más bajo, próximo a 0,5 para una temperatura más baja, en torno a 250ºC, comparada con las curvas A y B y la curva D representa una carga baja de carbonilla y el envenenamiento con azufre del catalizador de oxidación 20, lo cual indica un máximo situado en un valor bajo, en torno a 0,5, para una temperatura más elevada, entre 300ºC y 400ºC, comparada con las curvas A, B y C.

Cuando se pone en marcha el motor 100, no hay carga de carbonilla al principio y por lo tanto no hay combustión de carbonilla en el filtro de partículas 60. Sin embargo, el motor 100 emite carbonilla y empieza a formarse una torta de carbonilla en el filtro de partículas 60. La torta de carbonilla se va formando hasta adquirir un grosor que corresponda a un equilibrio, en el que la velocidad en la que se recoge la carbonilla es igual a la velocidad con la que la carbonilla reacciona con el NO_2. Para cargas mayores, con temperaturas de gases de escape normalmente más altas, esta reacción progresa con mayor rapidez, lo cual significa que la cantidad de carbonilla del filtro de partículas 60 es menor que cuando las cargas son más bajas. El tiempo hasta alcanzar el equilibrio se sitúa entre minutos y horas. Por ejemplo, partir de una carga baja, p. ej. la conducción urbana durante una hora, para llegar a una carga alta significa que la torta del filtro es mucho más gruesa en el inicio de la fase de carga alta que después de conducir durante media hora.

De modo favorable, el método preferido de control puede considerar de modo intrínseco la carga de carbonilla del filtro de partículas 60 y también la carga de azufre del catalizador de oxidación 20.

Con preferencia, se intentará mantener la relación NO_2/NO en un valor deseado predetermindo para las condiciones variables de carga del motor 100, si fuera posible. si no es posible establecer la relación específica, se intentará ajustar la relación actual para que se aproxime al valor deseado. Esto puede realizarse con preferencia ajustando el caudal de aire de admisión 110 con el fin de variar de modo apropiado la velocidad espacial de los gases de escape.

Con preferencia se elige una relación próxima a 1 y sobre todo que no supere el 1, p. ej. $NO_2/NO = 0{,}8 \pm 0{,}2$, en especial $NO_2/NO = 0{,}9 \pm 0{,}1$, con preferencia especial $NO_2/NO = 0{,}95 \pm 0{,}05$.

Aparte de la variación de la velocidad espacial alterando el caudal de aire de admisión, el ajuste de la relación NO_2/NO de los gases de escape puede realizarse también controlando el caudal que pasa por el catalizador de oxidación 20.

Esto se ilustra en la figura 3. El catalizador de oxidación 20 puede comprender opcionalmente un tubo de desvío exterior 22 de modo que los gases de escape puedan pasar sin entrar en contacto con el catalizador de oxidación 20, lo cual puede controlarse con una válvula 30. Como alternativa o de modo adicional, el catalizador de oxidación 20 puede comprender opcionalmente un desvío interior, indicado con los canales 24 y 26, que puede abrirse y cerrarse mediante la unidad de cierre 28.

Los gases de escape circulan por el catalizador de oxidación 20 y este flujo se controla en especial mediante un sensor de NO_2, para permitir que una cantidad suficiente de gases de escape circule por el tubo de desvío 22 de modo que la relación NO_2/NO_x no supere el valor 0,5 (es decir, la proporción NO_2/NO no es mayor que 1) antes de entrar en el catalizador SCR 70. De este modo puede llevarse a cabo la oxidación pasiva de la carbonilla ($C + 2\ NO_2 \rightarrow CO_2 + 2\ NO$) al mismo tiempo que se maximiza la reacción SCR más rápida y más selectiva ($2\ NH_3 + NO + NO_2 \rightarrow 2\ N_2 + 3\ H_2O$) y se minimizan las reacciones más lentas y no selectivas (p. ej. $3\ NO_2 + 4\ NH_3$), con lo cual se minimizarán las emisiones de NO_2 y de N_2O. Se fija con preferencia la relación deseada de NO_2/NO no superior a 1, de modo que la probabilidad que se lleve a cabo la reacción química seleccionada (R4) es superior a la probabilidad de que tenga lugar alguna de las demás reacciones químicas individuales. Dado que esta reacción tiene también una eficacia elevada, una relación de NO_2/NO próxima a 1 desencadenará automáticamente la reacción en un grado elevado.

El control puede realizarse de modo favorable mediante un sensor de NO_2 50 colocado después del filtro de partículas 60. Opcionalmente, el sensor 50 puede colocarse después del catalizador SCR 70, proporcionando de este modo una respuesta más lenta. El sensor de NO_2 50 puede reemplazarse por un sensor virtual que calcule el contenido de NO_2 a partir de los parámetros disponibles, por ejemplo el caudal de gases de escape, la temperatura del catalizador de oxidación 20 y el filtro de partículas 60, el caudal de NO y de NO_2 que sale del motor 100, el flujo de carbonilla que sale del motor 100 y la carga de carbonilla en el filtro de partículas 60. Algunos de los parámetros pueden medirse, mientras que otros pueden calcularse a partir de otros sensores y parámetros del motor.

El método preferido puede cambiar el flujo a través del catalizador de oxidación en función de las señales enviadas por el sensor de NO_2 y NO_x p. ej. con un control PID estándar (PID = Proportional-Integral-Derivative). Puede utilizarse un control de bucle abierto construyendo un mapa 4-dimensional basado en el caudal másico de los gases de escape, la temperatura en el catalizador de oxidación 20, el contenido de azufre en el catalizador de oxidación 20 y la carga de carbonilla en el filtro de partículas 60 como parámetros introducidos. El mapa 4-dimensional puede construirse en base a dichas curvas, tal como se representa por ejemplo en la figura 4. No obstante, los dos parámetros carga de carbonilla y contenido de azufre para un sensor 50 deberían calcularse de manera similar al sensor virtual.

Un sensor virtual de NO_x es un modelo bastante complejo y está formado con preferencia por los submodelos siguientes, que se indican entre comillas:

"NO_x que sale del motor": la cantidad de NO_x a la salida del motor puede estimarse con un sensor o con un modelo que tenga por ejemplo las entradas siguientes: carga o cantidad de carburante, régimen temporal para la inyección del gasóleo, velocidad del motor, presión del aire de admisión, temperatura del aire de admisión, cantidad EGR (EGR = exhaust gas recycling) y humedad del aire de admisión. Estos son parámetros del motor y valores obtenidos por los sensores. Hay varias formas para la construcción del modelo. Puede basarse en un mapa, en el que todos o por lo menos algunos de los parámetros relevantes son o pueden ser corregidos con factores de corrección plasmados en el mapa. Puede ser también un modelo construido sobre la base de una red neuronal.

"Caudal de gases de escape": El caudal de los gases de escape puede medirse o derivarse del caudal de aire de entrada medido y de la cantidad de carburante, o del caudal de aire de entrada calculado a partir de la velocidad del motor, de la presión de aire de admisión, de la temperatura de aire de admisión, de la cantidad EGR y de la eficacia volumétrica del motor.

"Caudal de gases de escape en el catalizador de oxidación": El caudal de los gases de escape puede medirse en el catalizador de oxidación 20 o calcularse a partir de la abertura de la válvula.

"Temperatura en el catalizador": La temperatura puede medirse p. ej. antes del catalizador de oxidación 20. Aplicando un filtro de señales apropiado, el valor medido junto con el caudal de gases de escape al catalizador de oxidación 20 como parámetro pueden representar la temperatura actual del catalizador. Como alternativa, la temperatura puede calcularse realizando un simple balance térmico.

"Azufre en el catalizador de oxidación": Con preferencia se calcula el azufre contenido en el catalizador de oxidación 20. Por ejemplo, el cálculo puede derivarse de los parámetros entre paréntesis: (contenido de azufre en catalizador) = (contenido de azufre en catalizador un segundo antes) + (azufre adsorbido de los gases de escape durante un segundo) -(azufre desorbido durante un segundo). El parámetro "azufre adsorbido de los gases de escape durante un segundo" es el contenido de azufre del gasóleo y del aceite lubricante consumido durante dicho segundo multiplicado por un factor, dicho factor se sitúa entre 0 y 1 y es una función de la temperatura que puede derivarse p. ej. del mapa que contiene los valores del factor dependientes de la temperatura. El parámetro "azufre desorbido durante un segundo" es el contenido de azufre en el catalizador de oxidación 20 un segundo antes multiplicado por otro factor dependiente de la temperatura, que puede derivarse de igual manera que el primer factor recién descrito.

"Formación de NO_2 en el catalizador": La formación de NO_2 en el catalizador de oxidación 20 puede derivarse por interpolación en una gráfica 3D basada en los parámetros de caudal de los gases de escape, de temperatura en catalizador y de contenido de azufre. Puede calcularse también empleando como parámetros de entrada un modelo físico de contenido de azufre, temperatura, caudal de gases de escape y concentración de oxígeno. El modelo puede ser p. ej. la cantidad de formación específica del NO_2 que es $k_1 \cdot C_{NO} \cdot C_{O2}$ y la cantidad de descomposición del NO_2 que es $k_2 \cdot C_{NO2}$, en los que k_1 y k_2 son parámetros dependientes de la temperatura y del contenido de azufre y C es la concentración de NO, NO_2 y O_2, respectivamente. El grado específico se integra a lo largo del volumen del catalizador. Si hay un intervalo amplio de contenidos de HC en la región de trabajo del motor o si se emplea un inyector de HC, entonces el nivel de HC será también un parámetro de entrada para este modelo, p. ej. como denominador de las cantidades específicas $(1 + Ka \cdot C_{HC})$. K_a es una constante de equilibrio (que depende de la temperatura).

"NO_2 que sale del filtro de partículas": La cantidad de NO_2 que suelta el filtro de partículas 60 es la diferencia entre la cantidad de NO_2 alimentada al filtro de partículas 60, el N_2 formado en el filtro de partículas 60 (que es cero, si el filtro de partículas 60 no se dota de una capa catalítica para la generación del NO_2) y el NO_2 consumido por la carbonilla en el filtro de partículas 60. El NO_2 formado en el filtro de partículas 60 puede calcularse de igual manera que el NO_2 formado en el catalizador de oxidación 20 (ver párrafos anteriores), con preferencia con un modelo físico. El NO_2 consumido por la carbonilla en el filtro de partículas 60 es proporcional a la cantidad de carbonilla del filtro de partículas 60 y puede expresarse como cantidad específica $k_3 \cdot C_{NO2} \cdot C_{carbonilla}$. De nuevo, el k_3 es un parámetro dependiente de la temperatura y C es la concentración de NO_2 y de carbonilla, según el caso.

"Carga de carbonilla en el filtro de partículas": La carga de carbonilla en el filtro de partículas 60 puede derivarse de la caída de presión medida a lo largo del filtro de partículas 60 y/o aplicando este modelo: (carbonilla en el filtro de partículas 60 en el momento actual) = (carbonilla en el filtro de partículas 60 en el tiempo anterior al momento actual) + (carbonilla emitida por el motor durante el tiempo actual) (carbonilla quemada por el NO_2 durante el tiempo actual). La carbonilla quemada por el NO_2 durante el tiempo actual se deduce del modelo "NO_2 que sale del filtro de partículas", la carbonilla emitida por el motor durante el tiempo actual se deriva de un sensor de carbonilla o de un modelo similar, por ejemplo el modelo "NO_x que sale del motor". El uso de la caída de presión para calcular la cantidad de carbonilla existente en el filtro de partículas 60 puede conllevar algunos errores, debido al hecho de que las características de la carbonilla pueden cambiar con el tiempo. Por lo tanto, es preferible recurrir a un modelo de cálculo de la carga de carbonilla y a la caída de presión como chequeo cualitativo del modelo.

Controlando el caudal de los gases de escape que pasan por el catalizador de oxidación 20 en función de la relación deseada entre los componentes, en especial de la relación NO_2/NO, y estableciendo la relación entre los componentes de modo que para una temperatura dada de reacción en el catalizador SCR 70 se seleccione una reacción química específica, en especial la reacción (R4) entre el grupo de reacciones químicas posibles (R3), (R4), (R5), que pueden llevarse a cabo entre los componentes de los gases de escape y el material del catalizador SCR 70, se consigue la eliminación eficaz del NO, del NO_2 y al mismo tiempo de la carbonilla.

Con referencia ahora en especial a la figura 3, en una forma preferida de ejecución según la invención con la variación de la velocidad espacial de los gases de escape mediante el ajuste del caudal de aire de admisión se proporciona un primer dispositivo de control de flujo con el fin de controlar el caudal de gases de escape que pasa por el catalizador de oxidación 20. De este modo se puede seguir influyendo en la relación NO_2/NO.

El dispositivo de control de caudal se diseña como válvula controlable 30, que controla el caudal de los gases de escape dividiéndolo en una primera porción que penetra en el catalizador de oxidación 20 y una segunda porción que penetra en el tubo de desvío 22. Ambas porciones de caudal se mezclan de nuevo en un punto anterior al filtro de partículas 60. El tubo de desvío 22 se instala en el exterior del catalizador de oxidación 20, a través de este tubo los gases de escape pueden evitar el contacto con el catalizador de oxidación 20. El tubo de desvío 22 arranca en un primer punto de derivación 16, situado antes del catalizador de oxidación 20 y termina en un segundo punto de derivación 18, situado después del catalizador de oxidación 20.

El caudal de gases de escape que pasa por el catalizador de oxidación 20 puede controlarse en función de la relación deseada entre los componentes de los gases de escape, en especial entre el NO_2 y el NO. Puede

mantenerse una relación predeterminada de NO_2/NO durante las variaciones de funcionamiento del motor 100. Además, según otra forma favorable de ejecución (no representada), puede instalarse un catalizador de oxidación en el tubo de desvío 22, permitiendo de este modo seguir variando la velocidad espacial de la instalación.

En una nueva referencia a la figura 4, a título ilustrativo el punto A1 de la curva A indica un estado estacionario de carga elevada del motor con una carga baja de carbonilla en el filtro de partículas 60 en torno a 350ºC. La presencia de una torta de filtro gruesa corresponde al punto C1 de la curva C. Un método de control que se base solamente en la temperatura no tendrá en cuenta la gran diferencia existente en la cantidad de NO_2 disponible. El tubo de desvío 22 debería abrirse para reducir el contenido de NO_2 con aproximadamente un 1/4 de los gases de escape desviados en un minuto, con arreglo a una escala temporal típica para la variación de temperatura del catalizador de oxidación 20. No obstante, durante este minuto, la carga de carbonilla en el filtro de partículas 60 no ha cambiado tanto, de modo la relación NO_2/NO no sería muy inferior a la relación preferida. Considerando la influencia del envenenamiento con azufre del catalizador de oxidación 20 (curva D), si el método de control tomara en consideración solamente la temperatura, entonces la cantidad de NO_2 sería tan baja que en las condiciones de equilibrio se podría formar un grosor de torta de filtro que resultaría crítico para el filtro de partículas 60. De modo favorable, el método de control preferido puede tomar en cuenta de modo intrínseco la escala temporal para el cambio de la carga de carbonilla en el filtro de partículas 60 y también la influencia del azufre en el catalizador de oxidación 20.

Entre el filtro de partículas 60 y el catalizador SCR 70 se coloca una unidad sensora 40 para detectar la cantidad de NO_2 contenido en los gases de escape que entra en el catalizador SCR 70. La unidad sensora 40 está formada por un sensor sensible al NO_2 50 colocado en el tubo de escape 14 después del filtro de partículas 60 y una unidad de control 42 conectada al sensor 50 y la válvula 30 mediante los conductos de datos 48 y 46 respectivamente. Opcionalmente puede acoplarse un dispositivo 44 a la unidad de control 42 para calcular la cantidad de NO_2 que entra en el catalizador SCR 70 en función de los parámetros 66, por ejemplo los parámetros de funcionamiento del motor 100 y/o de los parámetros de funcionamiento de uno o más catalizadores 20, 60, 70 instalados en el sistema de tratamiento final de gases de escape 10, ya descritos previamente.

Como alternativa o de modo adicional se puede reemplazar la válvula 30 por unidades que controlen la velocidad espacial de los gases de escape en el catalizador de oxidación 20, por ejemplo la unidad de cierre 28 acoplada al catalizador de oxidación 20. A título ilustrativo, el catalizador de oxidación 20 puede estar formado por un monolito de tipo nido de abeja constituido por una multitud de canales 24, 26, a través de los cuales circulan los gases de escape desde la entrada del catalizador hasta la salida del catalizador. La unidad de cierre 28 puede abrir o cerrar los canales 26 del catalizador de oxidación 20 cuando están seleccionados entre sus posiciones concretas de funcionamiento. El número total de canales disponibles 24, 26 para los gases de escape en el catalizador de oxidación 20 puede variarse mediante la unidad de cierre 28. Si los canales 26 se han cerrado con la unidad de cierre 28 en una primera posición de funcionamiento, entonces el caudal de los gases de escape circula forzado a través de los canales 24, de este modo disminuye el volumen de catalizador disponible para los gases de escape. En este caso se produce solamente una pequeña cantidad de NO_2. Si la unidad de cierre 28 selecciona la otra posición de funcionamiento, entonces quedan abiertos los canales 24 y también los canales 26. Los gases de escape pueden circular a través de todos los canales 24 y 26, proporcionando más material catalizador para la oxidación de los gases de escape y generando una mayor producción de NO_2.

Además o como alternativa, la sección transversal eficaz de los canales individuales 24, 26 puede variarse mediante una unidad preferida de cierre 28 (no representada). Además (no representado), los canales 24 y 26 pueden poseer p. ej. diámetros diferentes y/o pueden suministrarse con materiales catalíticos diferentes y/o pueden equiparse con diferentes densidades de material catalítico. Es también posible proporcionar un gradiente de densidad de material catalítico en los canales 24 y/o en los canales 26.

El gradiente de densidad puede orientarse en ángulo recto con respecto al flujo de los gases de escape desde un lado del catalizador de oxidación 20 hacia el otro. Si la unidad de cierre 28 cubre una parte de los canales 24 y/o 26 del catalizador de oxidación 20 y se retira la cobertura, entonces el cambio de reactividad catalítica es más fuerte que cuando se aumenta o se disminuye el volumen de los canales.

Otra forma de ejecución (no representada) de una unidad de cierre preferida 28 consiste en proporcionar una placa móvil de tipo diafragma de lentes de cámara, que varía la superficie del catalizador 20 expuesta a los gases de escape.

Otra forma de ejecución (no representada) de un catalizador de oxidación preferido 20 consiste en proporcionar un diseño de admisión que distribuya los gases de escape por la totalidad de zona con velocidades elevadas de dichos gases de escape y concentre hacia el centro los que tienen velocidades bajas.

La unidad de cierre 28 y/o la válvula 30 están conectadas a unidad sensora 40 que se instala para detectar la cantidad de NO_2 contenido en los gases de escape que entran en el catalizador SCR 70 y para recibir las señales control procedentes de la unidad de control 42 de de la unidad sensora 40 a través de los conductos de datos 46. El sensor 50 sensible al NO_2 instalado en el tubo de escape 14 después del filtro de partículas 60 está conectado con

la unidad de control 42 a través del conducto de datos 48. La unidad de cierre 28 puede combinarse con y/o formarse como guías de flujo en el catalizador de oxidación 20.

Opcionalmente, la unidad sensora 40 puede contener un dispositivo 44 que calcule la cantidad de NO_2 que entra en el catalizador SCR 70 en función de los parámetros de funcionamiento del motor 100 y/o de los parámetros de funcionamiento de uno o más catalizadores 20, 60, 70, instalados en el sistema de tratamiento final de gases de escape 10, formando de este modo un sensor virtual del NO_2.

En especial, el sensor virtual puede formar parte de un programa informático, constituido por un código informático adaptado para llevar a cabo un método de control preferido o para el uso en un método de control según por lo menos una de las características descritas previamente, cuando dicho programa se ejecuta en un microordenador programable y puede descargarse en especial a la unidad de soporte o a uno de sus componentes cuando se ejecuta en un ordenador que esté conectado a internet.

Los métodos de control preferidos así como el sistema preferido ilustrado de tratamiento final de gases de escape permiten controlar y en especial minimizar las emisiones de NO_2 y N_2O así como de carbonilla dentro de un amplio intervalo de carga-velocidad del motor, con una buena combustión de la carbonilla gracias al NO_2 sin necesidad añadir más gasóleo al sistema de tratamiento final de gases de escape para reducir las emisiones.

En general, la invención recién descrita permite poner en funcionamiento un sistema de tratamiento final de los gases de escape en condiciones de tiempo real. Según una forma favorable de ejecución, la figura 3 ilustra una combinación de la primera forma de ejecución que consiste en variar solamente el caudal de aire de admisión 110 y la segunda forma de ejecución que consiste en controlar la relación NO_2/NO mediante un desvío externo y/o interno del catalizador de oxidación 20. Con el fin de controlar la generación de una cierta mezcla de gases NO_2/NO requerida para la admisión del catalizador SCR 70 posterior. Con el fin de optimizar el control en tiempo real de la relación NO_2/NO es también posible conectar un regulador (buffer) al tubo de desvío 22. Las situaciones concretas o los modos de funcionamiento del motor pueden surgir cuando ciertas cantidades de los gases de escape producidos no pueden procesarse de manera correcta según la invención, porque el volumen de gases es demasiado grande y/o la composición de la mezcla de gases está demasiado desequilibrada. En tales situaciones puede ser favorable almacenar ciertas cantidades de gases de escape de manera controlada en un regulador intermedio, conectado o conectable al sistema de gases de escape 10 antes y/o después del catalizador 20. Este regulador podría o debería utilizarse de modo activo expulsando el exceso del volumen de gases de escape del sistema o bien inyectando el volumen de gases de escape que falta en el sistema con el fin de optimizar la mezcla de compuestos requerida para estabilizar la relación deseada de la mezcla de gases NO_2/NO a lo largo de un período grande de tiempo. Este regulador podría ser un regulador fijo, en el que se almacenen los gases de escape normalmente a una presión superior a la presión (media) de funcionamiento del sistema de gases de escape (tal vez se requiera una bomba para introducir los gases dentro del regulador y se requiera una válvula para dejar salir los gases del regulador). Como alternativa podría utilizarse un regulador de paredes flexibles (de tipo balón).

REIVINDICACIONES

1. Un método de trabajo de un sistema de tratamiento final de gases de escape (10) de un motor (100), en el que se oxidan uno o más componentes, por ejemplo el NO, de los gases de escape en un catalizador de oxidación (20) y se desoxidan uno o más componentes, por ejemplo el NO y el NO_2, de los gases de escape mediante un grupo de reacciones químicas posibles de diferentes tipos, entre uno o más componentes de los gases de escape y el material catalítico dispuesto en un catalizador de reducción catalítica selectiva (70), dichos gases de escape circulan desde el catalizador de oxidación (20) hacia el catalizador de reducción catalítica selectiva (70), y dicho método consta de los pasos siguientes:

a) ajustar por lo menos una relación deseada entre el NO y el NO_2 variando la velocidad espacial de los gases de escape por lo menos en el catalizador de oxidación (20);
b) variar la velocidad espacial de los gases de escape variando uno o más parámetros de funcionamiento del motor (100); y
c) estableciendo la relación en un valor que por lo menos se aproxime a la relación deseada entre el No y el NO_2 en la entrada del catalizador de reducción catalítica selectiva (70),

caracterizado porque la relación entre el NO y el NO_2 se establece a partir de cálculos y mediciones de uno de los siguientes:

- la cantidad de carbonilla contenida en un filtro de partículas (60) dispuesto antes del catalizador de reducción catalítica selectiva (70), y la cantidad de NO_2 generada en el filtro de partículas (60),
- la cantidad de NO_2 generada en el catalizador de oxidación (20),
- la cantidad de azufre adsorbido en el catalizador de oxidación (20),
- la cantidad de amoníaco aportada al catalizador de reducción catalítica selectiva (70).

2. Un sistema de tratamiento final de gases de escape que contiene medios para llevar a cabo los pasos del método según la reivindicación 1.

3. Un programa informático almacenable en un medio que pueda leerse con un ordenador, formado por un código de programa adaptado para llevar a cabo todos los pasos del método de la reivindicación 1, cuando dicho programa se ejecuta en un ordenador

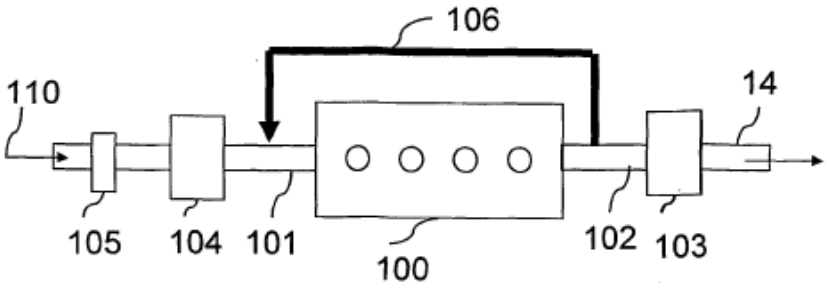

Fig. 1

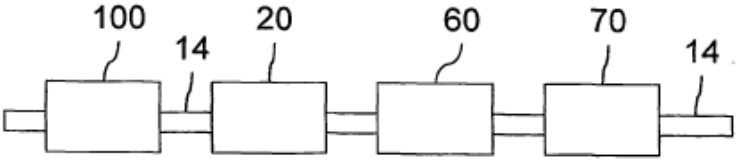

Fig. 2

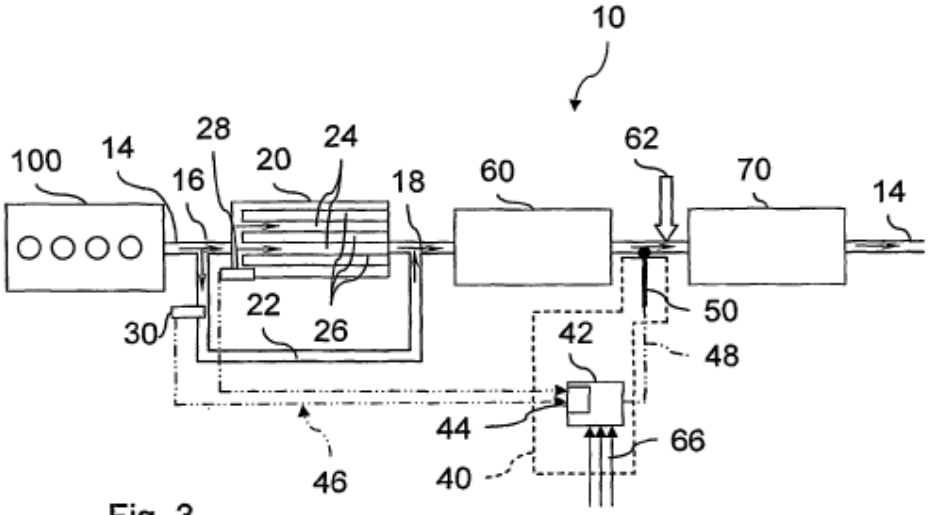

Fig. 3

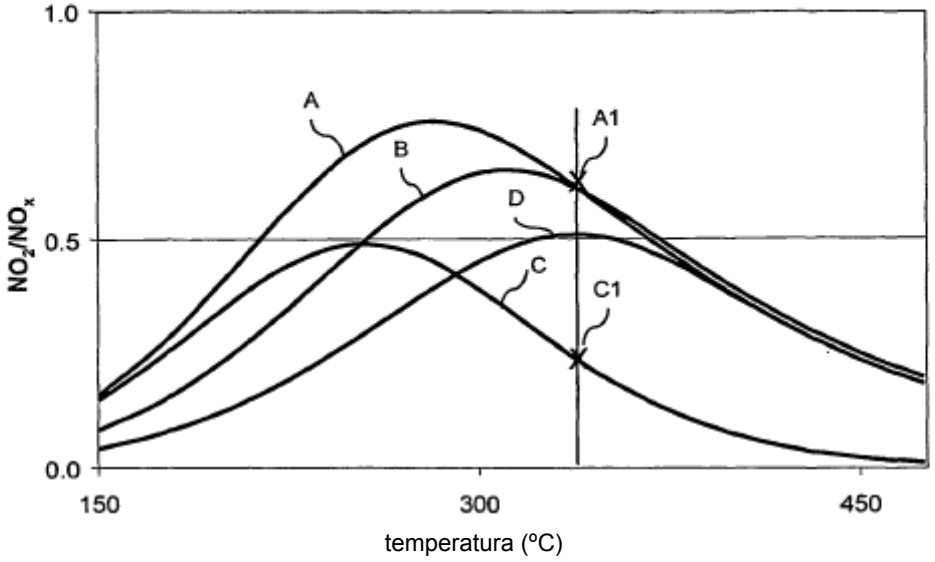

Fig. 4