

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 567 031**

51 Int. Cl.:

F01N 9/00 (2006.01)

F01N 11/00 (2006.01)

F01N 3/20 (2006.01)

F01N 3/10 (2006.01)

F01N 3/021 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.10.2010 E 10785129 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.03.2016 EP 2501909**

54 Título: **Procedimiento de control de las emisiones contaminantes de un motor de combustión**

30 Prioridad:

17.11.2009 FR 0958102

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

19.04.2016

73 Titular/es:

**PEUGEOT CITROËN AUTOMOBILES SA (100.0%)
VPIB - LG081 Route de Gisy
78140 Vélizy Villacoublay, FR**

72 Inventor/es:

**CHARIAL, CHRISTOPHE y
GRISE, CLÉMENT**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 567 031 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 de control de las emisiones contaminantes de un motor de combustión

La presente invención concierne a un procedimiento de control de las emisiones contaminantes de un motor de combustión.

5 La utilización de combustible fósil como el petróleo o el carbón en un sistema de combustión, en particular el carburante en un motor, provoca la producción en cantidad no despreciable de contaminantes que pueden ser descargados por el escape al medioambiente y causar daños al mismo. Entre estos contaminantes, los óxidos de nitrógeno (denominados NOx) plantean un problema particular puesto que estos gases se suponen que son uno de los factores que contribuyen a la formación de la lluvia ácida y a la deforestación. Además, los NOx están vinculados a problemas de salud para los humanos y son un elemento clave de la formación de « smog » (nube de contaminación) en las ciudades. La legislación impone niveles de rigor creciente para su reducción y/o su eliminación de fuentes fijas o móviles.

10 Entre los contaminantes que las legislaciones tienden a reglamentar de modo cada vez más estricto figuran igualmente el hollín u otros materiales en partículas que resultan esencialmente de una combustión incompleta del carburante, de modo más particular cuando el motor funciona en mezcla denominada pobre, es decir con un exceso de oxígeno (de aire) con respecto a la estequiometría de la reacción de combustión. Las mezclas pobres son las que se utilizan en los motores denominados diesel, cuyo encendido es obtenido por compresión.

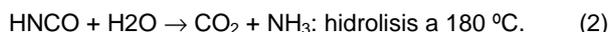
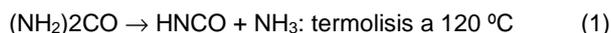
15 Para estas dos grandes categorías de contaminantes, se ponen en práctica diferentes medios de descontaminación y estrategias de combustión.

20 Para limitar las emisiones de partículas, la tecnología de los filtros de partículas se generaliza poco a poco para todos los vehículos equipados con un motor diesel. Esta tecnología consiste esencialmente en forzar el paso de los gases de escape a través de los canales porosos de una estructura en nido de abeja de cerámica. El hollín así filtrado se acumula y después es eliminado en una operación de regeneración del filtro durante la cual aquél es quemado. Para obtener esta regeneración, es necesario sin embargo aumentar la temperatura de los gases de escape, lo que se obtiene típicamente enriqueciendo los mismos con carburante (inyectado directamente en la línea de escape o en la cámara de combustión del motor, durante la fase de escape del ciclo de combustión) y/o aumentando la carga del motor. Por otra parte, se utiliza un agente catalítico para facilitar la combustión del hollín, estando depositado este agente de modo permanente en los canales del filtro, o siendo introducido como aditivo con el carburante, permitiendo esta última tecnología operar con temperaturas de combustión más bajas que las requeridas con filtros catalizados.

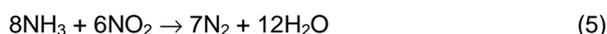
25 Para limitar las emisiones de NOx, la principal vía puesta en práctica en los vehículos actuales ha sido la reducción de las emisiones en la fuente, dicho de otro modo operando el motor en condiciones tales que las tasas de los NOx producidos sean inferiores a las tasas límites. Estas condiciones se reúnen especialmente gobernado de manera muy fina los diferentes parámetros del motor, comenzando por los parámetros de inyección de carburante y de reinyección en la admisión de una parte de los gases de escape, esto a fin de reducir la concentración en oxígeno favorable para la formación de óxidos de nitrógeno.

30 Sin embargo, no es posible reducir drásticamente las emisiones en la fuente sin limitar ciertas características del motor. Por esta razón, se han propuesto diferentes soluciones para desnitrificar los gases de escape. Una solución que ha demostrado su eficacia especialmente para los camiones de gran tonelaje es la conversión química por reducción de los óxidos de nitrógeno de un agente reductor directamente inyectado en la línea de escape. Así, una solución de post-tratamiento que ha demostrado su eficacia es la utilización de una fuente de amoníaco (NH₃), tal como urea acuosa. El amoníaco reacciona con los NOx en un catalizador para formar nitrógeno N₂ inerte y agua H₂O. Esta solución es conocida esencialmente con el nombre de su acrónimo inglés SCR de « Selective Catalytic Reduction ».

35 Un reductor utilizado habitualmente es el amoníaco, almacenado en forma de urea, siendo obtenido el amoníaco por termolisis / hidrolisis de la urea en la línea de escape según las reacciones siguientes:



40 El catalizador SCR sirve a continuación para favorecer la reducción de los NOx por NH₃ según las 3 reacciones siguientes:



Siendo a su vez el amoniaco un gas considerado como tóxico, importa que la cantidad de urea inyectada esté en todo momento adaptada a la cantidad de óxido de nitrógeno que haya que tratar.

5 Un simple control en bucle cerrado basado esencialmente en la información facilitada por un sensor de NOx dispuesto aguas abajo de la trampa de NOx está excluido para un motor que opera de modo predominante en regímenes transitorios, como un motor de un vehículo automóvil.

La cantidad de NOx puede ser estimada sin embargo especialmente sobre la base de una cartografía de las emisiones de óxidos de nitrógeno en función especialmente de las condiciones de funcionamiento del motor, dicho de otro modo, esencialmente en función de la demanda de régimen y de par.

10 Sin embargo, en la práctica, ajustar de modo preciso la cantidad de urea que haya que inyectar plantea numerosas dificultades. En efecto, el amoniaco disponible para la reacción es el que está « almacenado » en un instante dado en el catalizador. Cuanto más aumenta la temperatura de los gases de escape, menor será la capacidad del catalizador para almacenar amoniaco, concurriendo una reacción de desorción con la reacción de adsorción. En cambio, este aumento de la temperatura tiende a favorecer la cinética de la reacción, y por tanto a favorecer las reacciones de reducción. En estas condiciones, es difícil obtener un perfecto control de las emisiones.

15 En estas condiciones, la información dada por el sensor NOx aguas abajo del catalizador puede ser utilizada para verificar que el sistema funciona normalmente, y activar una alerta si aparece un fallo de funcionamiento. Así, de acuerdo con la reglamentación vigente en Europa el umbral de emisión de los NOx es medido en todo un ciclo de conducción normalizado, designado por el acrónimo NEDC (« New European Driving Cycle »), si se llega al umbral de emisión, éste debe ser señalado al conductor por un testigo luminoso y registrado en la memoria de defectos,
20 porque más allá de este umbral el sistema SCR es considerado como defectuoso.

Antes de alcanzar estos umbrales, pueden ser tomadas medidas para compensar una deriva de la señal por ejemplo para tener en cuenta un envejecimiento supuesto del catalizador, por ejemplo sustituyendo la cartografía de inyección de origen por una nueva cartografía mejor adaptada a un sistema al final de la vida de servicio.

25 Pero una gran dificultad viene de que los umbrales son definidos con respecto a valores medios, así con techos de emisiones en gramos por kilómetro recorrido, mientras que las condiciones de rodaje de un vehículo no son normalmente estacionarias. De esta manera, incluso si el conductor ha accionado el regulador de velocidad, la carga del motor puede variar por la puesta en marcha de un compresor de climatización o de modo más simple, por una variación del estado de la carretera (pendiente y calidad de revestimiento).

30 Sería por tanto deseable poder disponer de un medio para detectar en tiempo real un funcionamiento anormal del sistema SCR, sin por ello considerar que una deriva instantánea de las emisiones es necesariamente el signo de un fallo de funcionamiento de este tipo.

35 De acuerdo con la invención, se propone así un procedimiento de control de un sistema de tratamiento de los NOx presentes en una línea de escape de un motor de combustión interna, comprendiendo el citado sistema medios para introducir en la línea de escape un agente reductor aguas arriba de un catalizador de reducción de los NOx, caracterizado por que se estima la eficacia del tratamiento con respecto a un potencial de conversión máximo obtenido si la relación entre la cantidad de reductor inyectada y la cantidad de NOx en los gases respeta una consigna dada y si la masa de agente reductor almacenada en el catalizador respeta una consigna de almacenamiento dada.

40 De acuerdo con la invención, la masa de reductor almacenada en el catalizador es estimada sobre la base de una cartografía de base función de la temperatura de los gases de escape y de la relación NO₂/NO.

Por ello, de acuerdo con la invención, la masa de agente reductor almacenada en el catalizador se estima integrado en función del tiempo la velocidad de almacenamiento del amoniaco inyectado en la línea y la velocidad de desalmacenamiento del amoniaco por reacción de los NOx, planteando como condiciones a los límites que esta masa no puede ser inferior a 0.

45 Esta velocidad de almacenamiento puede ser estimada como dependiente únicamente de la cantidad de amoniaco inyectada en la línea.

Para la velocidad de desalmacenamiento, se la puede estimar suponiendo que la relación estequiométrica R_{NH_3/NO_x} de la reacción de conversión de los NOx por el amoniaco depende de la relación NO₂/NO del modo siguiente:

Si $R_{NO_2/NO} < 0,50$ entonces $R_{NH_3/NO_x} = 1$.

50 Si no, $R_{NH_3/NO_x} = (1+8(R_{NO_2/NO}-0,50))/(1+6*(R_{NO_2/NO}-0,50))$.

En una variante del procedimiento de acuerdo con la invención, para un tipo de catalizador SCR dado, el potencial de conversión máximo es estimado a partir de una cartografía función de la temperatura del catalizador de reducción SCR y de la relación NO₂/NO a la entrada del catalizador SCR.

Ventajosamente, esta relación NO₂/NO es estimada a partir de una cartografía en función de la temperatura y del tiempo de estancia de los gases de escape en un catalizador de oxidación aguas arriba dispuesto en la línea de escape, aguas arriba del catalizador SCR.

5 El valor estimado a partir de la cartografía función del tiempo de estancia de los gases de escape en el catalizador de oxidación DOC puede ser a su vez corregido por un factor dependiente del estado de envejecimiento del catalizador DOC.

Este factor de envejecimiento puede ser como la relación entre la duración acumulada de exposición más allá de una primera temperatura crítica que provoca una degradación del catalizador de oxidación y una duración de referencia de exposición a la primera temperatura crítica, para la cual la degradación del catalizador es completa.

10 Cuando el catalizador es expuesto a una segunda temperatura crítica, superior a la primera temperatura crítica, los tiempos de exposición pueden ser ventajosamente multiplicados por un factor corrector superior a 1.

La estimación del tiempo de estancia de los gases de escape en el catalizador de oxidación DOC puede ser hecha a partir de la temperatura y de la presión de los gases de escape a la salida del catalizador de oxidación y del caudal de los gases de escape aguas arriba del catalizador de oxidación.

15 Otros detalles y características ventajosas de la invención surgirán de la descripción detallada hecha a continuación refiriéndose a las figuras anejas, que muestran:

- Figura 1: una vista esquemática de un motor y de su línea de tratamiento de los gases de escape;
- Figura 2: un esquema de principio que ilustra la dependencia del modelo de estimación de la relación NO₂/NO a la salida de un catalizador de oxidación;
- 20 • Figura 3: un esquema que ilustra el cálculo del tiempo de estancia de los gases de escape en el catalizador de oxidación;
- Figura 4: un esquema del principio del módulo de estimación de la relación NO₂/NO a la salida del catalizador de oxidación;
- Figura 5: un esquema del principio del módulo de cálculo de la eficacia del sistema SCR;
- 25 • Figura 6: la forma de la variación de la eficacia de un catalizador SCR en función de la carga de amoníaco;
- Figura 7: un esquema del principio de un módulo de cálculo de la carga de amoníaco en el catalizador.

30 Se precisa que por óxidos de nitrógeno NO_x se entienden los dos compuestos nitrogenados cuyas emisiones están reglamentadas a saber el monóxido de nitrógeno y el dióxido de nitrógeno, producidos especialmente por motores que funcionan en mezcla pobre, es decir con exceso de oxígeno con respecto a la estequiometría de la reacción de combustión de carburante, al ejemplo especialmente de los motores de encendido por compresión denominados diesel.

35 En la descripción que sigue, en aras de la claridad, se hará sistemáticamente la hipótesis de que el agente reductor es inyectado tal cual en la línea de escape, aguas arriba del catalizador SCR. Este es por ejemplo el caso si este agente es hidrógeno o amoníaco almacenado en forma gaseosa o producido en un generador idóneo antes de ser introducido de modo controlado en la línea de escape. Sin embargo, este inyector puede ser introducido igualmente en forma de un precursor, en el ejemplo bien conocido urea, que después de una reacción de termólisis y de hidrólisis, se transforma en amoníaco (véanse los equilibrios 1 y 2 propuestos anteriormente).

40 Además, se supone que este agente reductor es efectivamente amoníaco, y en aras de la claridad, la designación (NH₃) es sistemáticamente en lo que sigue de la descripción, incluso si la invención no está limitada a este modo de realización.

45 La figura 1 es una vista esquemática de un motor y de su línea de tratamiento de los gases de escape. A la entrada de línea está dispuesto un catalizador de oxidación DOC cuya función primera es convertir el monóxido de carbono, y la fracción de hidrocarburos gaseosos no quemada o parcialmente quemada, en dióxido de nitrógeno, en las cámaras de combustión del motor. Tal disposición lo más cerca del motor, por tanto en la región más caliente de la línea de escape garantiza un máximo de eficacia a este catalizador, pero no entra en el marco específico de la invención.

Continuando en el sentido de los gases de escape, se observa la presencia de un sensor de temperatura que permite estimar la temperatura de los gases de escape aguas arriba del sistema de tratamiento SCR.

50 Este sistema de tratamiento está constituido esencialmente por un inyector, unido a una fuente de agente reductor no representada, y aguas abajo de la misma, un catalizador de reducción selectiva, denominado catalizador SCR.

De modo bien conocido, tal catalizador puede estar constituido por una ceolita depositada sobre un soporte de cerámica, por ejemplo del tipo cordierita. Con un catalizador de este tipo a base de ceolita, la reacción de conversión de los NO en NO₂ es muy poco promovida. Con otros catalizadores, que contienen platino o paladio, esta conversión será por el contrario más favorecida.

- 5 Si el reductor no es inyectado directamente en su forma final, sino en forma de un precursor, en el ejemplo de una solución acuosa de urea, el sistema puede comprender igualmente medios apropiados para facilitar la mezcla del precursor en los gases de escape al tiempo que permita una arquitectura de línea relativamente compacta.

En esta línea, se ha hecho figurar igualmente una trampa de partículas, dispuesta en este caso aguas abajo del catalizador de reducción selectiva, pero que igualmente puede estar dispuesta aguas arriba del inyector.

- 10 Finalmente, está previsto un sensor NO_x a fin de asegurarse de que las emisiones del vehículo son siempre inferiores a una norma de emisión en vigor.

En lo que sigue de esta memoria, se anotan con el sufijo 0, los datos en un punto aguas arriba del catalizador de oxidación DOC (pero aguas abajo del punto de picado de los gases EGR), con 1, un punto aguas abajo de este catalizador DOC y aguas arriba del catalizador SCR.

- 15 La reducción catalítica de los NO_x por el amoníaco en un catalizador SCR consiste esencialmente en la serie de reacciones numeradas (3) a (5) anteriormente mencionadas, reaccionando los NO_x esencialmente con el amoníaco almacenado en el catalizador en un momento dado.

- 20 En cualquier instante, se puede calcular la eficacia del sistema, es decir la relación entre, por una parte, la diferencia entre la cantidad de NO_x emitida por el motor y la emitida al final de la línea y, por otra, la cantidad de NO_x emitida por el motor.

La cantidad de NO_x emitida al final de la línea es estimada con la ayuda de un sensor NO_x montado aguas abajo de los dispositivos de tratamiento.

- 25 La cantidad de NO_x emitida por el motor puede ser obtenida a partir de una cartografía establecida sobre la base de mediciones reales de las emisiones a la salida del motor típicamente en banco motor asociado a un armario de análisis químico y cuantitativo de los gases de escape.

- 30 Durante la fase de puesta a punto del motor, para cada punto de funcionamiento del motor (que se puede definir como una demanda de par motor a un régimen motor dado), se define un conjunto de parámetros motores que optimiza el rendimiento del vehículo y las emisiones del vehículo. Entre estos parámetros figuran por ejemplo la cantidad de carburante inyectada, la cantidad de aire fresco admitida en el motor, las condiciones de inyección del carburante, los instantes de apertura de las válvulas, la tasa de recirculación de los gases de escape (EGR), etc. Estos parámetros son transmitidos al control del motor por medio de un juego de cartografías que se permiten tener en cuenta parámetros tales como la temperatura exterior, la altitud (para tener en cuenta la rarefacción del oxígeno), el estado de precalentamiento del motor, etc. Como las emisiones reglamentadas del vehículo son tenidas en cuenta para definir los parámetros motores, se obtendrá para cada punto de funcionamiento del motor, en condiciones exteriores dadas, un caudal másico instantáneo de NO_x producido por este motor. Eventualmente, se pueden prever igualmente cartografías para condiciones de funcionamiento degradadas por ejemplo en la hipótesis de una ausencia de recirculación de los gases debida a un fallo de funcionamiento de la válvula EGR.

- 35 El sistema SCR tiene un funcionamiento nominal si esta eficacia constatada conforme a un modelo teórico de este sistema que permite definir el potencial de conversión máximo en las condiciones dadas.

- 40 Para construir este modelo, obsérvese en primer lugar que un catalizador presenta una capacidad de reducción que es función de su temperatura y de la naturaleza de los gases que haya que tratar, dicho de otro modo, de la relación NO₂/NO indicada en lo que sigue por $R_{NO_2/NO}$.

- 45 En tanto que no se llegue a la temperatura mínima de activación (denominada temperatura de Light-off), el catalizador es esencialmente inerte. Por encima de la misma, su eficacia aumenta hasta que se llegue a una zona de funcionamiento óptima. Esta eficacia no es universal sino que depende naturalmente de la naturaleza de las especies químicas que haya que tratar, por tanto en el caso particular del tratamiento de los gases de escape, de la relación $R_{NO_2/NO}$.

A. Determinación de la relación NO₂/NO a la entrada del catalizador

- 50 En una primera variante de la invención, esta relación $R_{NO_2/NO}$ puede ser estimada a partir de cartografías establecidas durante la puesta a punto del motor analizando los gases producidos según los diferentes puntos de funcionamiento del motor.

En la práctica, este análisis es relativamente complicado, y generalmente, se limita simplemente a determinar las diferentes especies, siendo considerada la fracción NO_x suma de los NO₂ y de los NO como un todo (como por otra

parte es el caso con las normas reglamentarias vigentes), y el análisis de los gases es efectuado de modo más simple después de la oxidación completa del gas, por tanto de la conversión de toda la fracción NO en NO₂. Por esta razón uno de los objetos de la presente invención es proponer un medio para estimar esta relación de manera más simple.

- 5 Entre la salida del motor y el catalizador de reducción catalítica, se efectuará en el catalizador de oxidación DOC, una oxidación de una parte de los NO. Por ello, uno de los objetos de la presente invención es proponer un modelo para estimar esta relación $R_{NO_2 / NO}$, distinguiéndose este modelo por que la relación es estimada en función del tiempo de estancia de los gases en el catalizador de oxidación, y ponderado según un factor de envejecimiento del catalizador de oxidación.
- 10 Este modelo corresponde en lo esencial al esquema propuesto en la figura 2 en la que se muestra que 3 datos de entrada: la temperatura y la presión estimada a la salida del catalizador DOC y el caudal de los gases de escape aguas arriba de este catalizador DOC son necesarios para estimar la relación $R_{NO_2 / NO}$ con la ayuda de 3 módulos específicos que permiten determinar de modo más preciso el factor de envejecimiento del catalizador de oxidación, la velocidad de los gases de escape en el catalizador DOC y un módulo de estimación de la relación $R_{NO_2 / NO}$ a partir del resultado de estos dos módulos precedentes.
- 15

Módulo factor de envejecimiento del catalizador de oxidación

De acuerdo con la invención, este envejecimiento puede ser estimado a partir de un contador de tiempo que totalice el tiempo transcurrido por encima de una temperatura crítica por encima de la cual las características del catalizador DOC se degradan irremediablemente. Ventajosamente, cuando la temperatura a la cual el catalizador DOC es expuesto es particularmente elevada (superior a una segunda temperatura de umbral superior a la temperatura crítica), el tiempo transcurrido por encima de esta segunda temperatura de umbral es multiplicado por ejemplo por 1,5.

20

Se puede definir entonces un factor de tiempo normalizado como la relación entre este contador de tiempo y un contador de tiempo de referencia, correspondiente a la duración calculada de exposición por encima de la temperatura crítica que provoca una degradación completa del catalizador DOC. Así, si el contador de tiempo llega o sobrepasa esta duración de referencia, el factor de envejecimiento será fijado igual a 1. Un catalizador DOC nuevo, no expuesto nunca a una temperatura por encima de la temperatura de referencia tendrá por su parte un factor de envejecimiento igual a 0.

25

Tiempo de estancia de los gases en el catalizador de oxidación.

Este módulo está ilustrado en la figura 3 y está basado esencialmente en la ley de los gases perfectos, con tres datos de entrada, la temperatura (expresado en °Kelvin), y la presión aguas abajo P1 del catalizador de oxidación (expresadas en Pascales) y el caudal de los gases de escape aguas arriba del catalizador (expresado en g/s), es decir el caudal de gases producidos por el motor, menos el de los gases admitidos en el circuito EGR si el motor está bien equipado con un circuito de este tipo y si el punto de picado del circuito EGR está dispuesto aguas arriba del catalizador de oxidación, dicho de otro modo si el motor está equipado con un circuito EGR de alta presión.

30

35

El cálculo necesita además el conocimiento del volumen V del catalizador (volumen accesible a los gases, expresado en litros). En un gas perfecto, la relación entre el número n de moles de gas en un volumen V a la presión P y la temperatura T es igual a RT/PV , siendo R la constante de los gases perfectos. En el caso de los gases de escape, se puede aproximar la masa molar a 29, considerando que estos están constituidos esencialmente de los productos de la combustión por el oxígeno del aire de carburante (que puede ser modelizado por la reacción $C_7H_{16} + 15O_2 \rightarrow 7CO_2 + 8H_2O$) y que el nitrógeno del aire se encuentra en los gases de escape. Se deduce la masa de los gases en el catalizador DOC.

40

Dividiendo la masa de gas que permanece en el catalizador DOC por el caudal másico aguas arriba, se obtiene una estimación del tiempo de estancia en este catalizador DOC, tiempo de estancia que por hipótesis se supone idéntico para todas las especies gaseosas presentes en los gases de escape de las cuales especialmente los NOx.

45

Estimación de la relación $R_{NO_2 / NO}$ a la salida del catalizador de oxidación.

Durante la estancia en el catalizador de oxidación DOC, una parte de los NOx se oxidará a NO₂. Las reacciones de reducción que se producen en el catalizador de reductor catalítica se realizan bien con gas enriquecido en NO₂. Conviene por tanto estimar la relación NO₂ / NO ($R_{NO_2 / NO}$) a la salida del catalizador de oxidación DOC.

50 Esta relación depende por una parte de la dimensión del catalizador de oxidación DOC, del estado de envejecimiento del catalizador DOC y del tiempo de estancia de los gases en el catalizador de oxidación. Se ha demostrado anteriormente cómo se podía estimar un factor de envejecimiento y el tiempo de estancia.

Los autores de la presente invención han encontrado que esta relación NO₂/NO a la salida del catalizador de oxidación puede ser considerada como independiente de la relación NO₂/NO a la entrada del catalizador, y dependiente solamente, por una parte, de la capacidad de oxidación del catalizador de oxidación y, por otra, del

55

tiempo de estancia de los gases en el catalizador. Para una elección de arquitectura dada, y un estado de envejecimiento dado, el único parámetro variable en funcionamiento de las condiciones de operación del motor y que afectan a esta capacidad de oxidación es la temperatura en el catalizador.

La figura 4 ilustra el módulo de estimación de la relación NO_2/NO a la salida del catalizador de oxidación.

- 5 Una primera cartografía 31 es utilizada para seleccionar un valor de relación NO_2/NO según el tiempo de estancia de los gases 32 en el catalizador DOC. Este valor es corregido por un primer factor corrector, facilitado por una segunda cartografía 33 en función de la temperatura aguas abajo del DOC, siendo elegido este primer factor por ejemplo entre 0 y 1.

- 10 El envejecimiento del catalizador DOC afecta sus características al menos en dos planos: por una parte, su temperatura de activación aumenta y, por otra, por encima de esta temperatura de activación, la capacidad de oxidación se degrada. Se podrán utilizar por tanto dos cartografías específicas para probar si el catalizador DOC opera bien en un intervalo de temperatura adaptado y para asignar un segundo factor corrector, elegido de nuevo entre 0 y 1, para tener en cuenta esta degradación de la capacidad de oxidación. Ventajosamente, este segundo factor corrector puede ser diferente a baja y alta temperatura, para tener en cuenta de que para las bajas temperaturas (justo por encima de la temperatura de activación), la degradación es mayor que para las temperaturas más elevadas, de modo que el envejecimiento de un catalizador es tanto más penalizante cuanto más baja es la temperatura.

Finalmente, la relación es filtrada por un filtro de paso bajo de orden 1 para alisar la dinámica fuerte del tiempo de estancia, vinculada a las grandes variaciones del caudal en la línea de escape.

- 20 Siendo estimada la relación de NO_2/NO , es posible comenzar a modelizar la reducción en el catalizador SCR, suponiendo que esta relación no varía entre la salida del catalizador de oxidación DOC y la entrada del catalizador de reducción SCR.

B – Determinación de la masa de NH_3 almacenada en el catalizador

- 25 Un mol de amoníaco inyectado aguas arriba de catalizador puede eventualmente ser « atrapado » por el catalizador SCR, transformado al reaccionar con los NO_x o todavía atravesar el catalizador SCR sin ser transformado y encontrarse entonces aguas abajo del catalizador NH_3 .

- 30 El catalizador de reducción tiene una gran afinidad por el amoníaco y por debajo de un cierto umbral mínimo de carga en NH_3 , la reacción de reducción de los NO_x por el amoníaco no es catalizada de modo significativo. Por otra parte, por encima de un umbral máximo de carga en NH_3 , se sobrepasa la capacidad de almacenamiento y se libera amoníaco por el catalizador, y hay que añadir este amoníaco liberado por el catalizador al que proviene de la inyección de reductor para evitar un exceso de amoníaco que se encontraría entonces al final de la línea de escape, añadiéndose a los contaminantes emitidos por el vehículo que por otra parte se busca minimizar.

Estos umbrales mínimo y máximo dependen de la temperatura del catalizador y por son tanto más bajos cuanto más aumenta esta temperatura.

- 35 A cualquier temperatura de catalizador SCR corresponde por tanto una consigna óptima de almacenamiento comprendida entre el umbral mínimo y el umbral máximo, que eventualmente puede estimarse como igual a la media entre los umbrales mínimo y máximo si se desea minimizar el número total de cartografías embarcadas. En cualquier instante, la cantidad de reductor que es inyectada es ajustada con el fin de estabilizar la cantidad de amoníaco almacenada a este nivel de consigna óptimo.

- 40 Deberá observarse que el amoníaco almacenado en el catalizador no se volatiliza después de la parada del vehículo, de modo que la masa modelizada puede ser ventajosamente memorizada al final de cada fase de rodaje para utilizarla como masa inicial durante el rodaje siguiente. Con este objetivo, se puede utilizar por ejemplo una memoria no volátil, en el ejemplo una memoria muerta borrable eléctricamente y programable de tipo EEPROM (acrónimo de « Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory »).

- 45 La masa de NH_3 en el catalizador depende de la cantidad de amoníaco inyectada, y de la cantidad de NO_x tratada por el catalizador, es decir la diferencia entre los caudales de NO_x aguas arriba y aguas abajo del catalizador. En otras palabras, la masa de NH_3 en el catalizador es obtenida integrando la velocidad de almacenamiento o de desalmacenamiento (por reacción de los NO_x), poniendo como condición a los límites que esta masa sea como mínimo igual a 0 g. Esta velocidad de almacenamiento depende principalmente de la cantidad de amoníaco inyectada en la línea. Supóngase que el amoníaco es inyectado en forma de una solución acuosa con 32,5% (en masa) de urea. Por cada gramo de solución, se puede calcular fácilmente que se carga el catalizador con 0,184 g de catalizador.

- 55 La masa de NH_3 en el catalizador es disminuida por la masa de los NO_x que reaccionan en el mismo. Esta masa de NO_x reacciona en función de la relación estequiométrica. Para tener la masa de NH_3 , basta integrar la velocidad de almacenamiento o de desalmacenamiento del mismo (La masa mínima es de 0 g).

La figura 7 ilustra de modo más preciso cómo puede implementarse este modelo en una unidad de control.

La masa NH₃ modelizada en el catalizador puede ser igualmente reinicializada durante un rodaje en un nuevo valor por la estrategia de adaptación o por una calibración.

5 Fuera de esta cantidad de amoniaco almacenada en el catalizador, se encuentra naturalmente en un momento dado una cantidad de amoniaco disponible para la reacción de reducción de los NO_x. Si la relación $R_{NO_2/NO}$ es inferior a 0,5, se estima de acuerdo con la invención que un mol de óxidos de nitrógeno (NO o NO₂) reacciona con un mol de amoniaco. Si esta relación es superior a 0,5 más de un mol de óxidos de nitrógeno reacciona con un mol de amoniaco, y una relación estequiométrica indicada por R_{NH_3/NO_x} puede ser definida como sigue:

Si $R_{NO_2/NO} < 0,50$ entonces $R_{NH_3/NO_x} = 1$

10 Si no, $R_{NH_3/NO} = (1+8(R_{NO_2/NO}-0,50))/(1+6*(R_{NO_2/NO}-0,50))$.

C. Potencial de conversión del catalizador SCR

Por otra parte, la capacidad de reducción del catalizador solamente puede expresarse si el catalizador SCR está efectivamente a una temperatura superior a su temperatura de activación (por ejemplo del orden de un catalizador de tipo ceolita...), condición que no es satisfecha en los primeros instantes siguientes al arranque del motor.

15 Finalmente, esta capacidad depende de la temperatura del catalizador SCR y de la relación NO₂/NO a la entrada del catalizador.

A partir de una estimación de esta relación NO₂/NO y de la temperatura del catalizador, se puede por tanto definir un potencial de conversión máximo, en la hipótesis en que la consigna de inyección ha permitido respetar bien la consigna de almacenamiento de amoniaco por un parte, y la relación R_{NH_3/NO_x} .

20 Este potencial de conversión máximo refleja las condiciones reales instantáneas, por tanto una separación entre el mismo y la eficacia observada se traduce en un fallo de funcionamiento del sistema, fallo de funcionamiento que puede ser tenido en cuenta prácticamente en tiempo real porque corresponde bien a las condiciones instantáneas que pueden no ser momentáneamente favorables para una buena conversión.

25 La figura 5 ilustra una utilización posible de este modelo. Los datos de entrada son en este caso en número de 4: la carga inicial de amoniaco 41, el tiempo de estancia 42 de los gases de escape en el catalizador SCR, la temperatura del catalizador SCR 43 y la relación $R_{NO_2/NO}$.

30 La temperatura del catalizador no es homogénea, ni longitudinalmente ni transversalmente. Por otra parte, el catalizador SCR presenta una cierta inercia térmica y su temperatura no puede ser confundida con la temperatura de los gases de escape. Por tanto, en este módulo, importa simplemente que esta temperatura sea estimada en un punto dado del catalizador.

La figura 6 muestra la forma de la variación de la eficacia de un catalizador SCR en función de su carga de amoniaco. La carga 41 puede ser por tanto convenida por medio de una cartografía o de una función de transferencia 45 en un potencial de conversión estimado.

35 Este valor se corregirá una primera vez para tener en cuenta el tiempo de estancia de los gases en el catalizador y la temperatura del mismo, para reflejar el hecho de que la cinética de la reacción de reducción es tanto mayor cuanto más caliente está el catalizador y la reacción necesita un cierto lapso de tiempo, de modo que si el tiempo de estancia es recortado (caudal de gases de escape más elevado en razón del aumento del régimen del motor), entonces la eficacia será menor a isotemperatura. Esta corrección es efectuada sobre la base de un factor comprendido entre 0 y 1 obtenido en 46.

40 Por otra parte, como se indicó anteriormente, la eficacia de la conversión de los NO_x depende igualmente de la relación NO₂/NO, otro factor multiplicativo comprendido entre 0 y 1 es por tanto determinada en 47, igualmente a partir de una cartografía apropiada.

La combinación en 48 de los factores 46, 47 permite modular el potencial de conversión 45.

45 Eventualmente, como ilustra la figura 4, se tiene igualmente el factor de adaptación 49 que refleja el hecho de que a veces es ventajoso elegir inyectar una cantidad de amoniaco un poco inferior a la cantidad que debería permitir obtener los mejores resultados a fin de asegurarse un intervalo de tiempo mínimo entre dos llenados del depósito de reductor.

50 El módulo permite estimar el potencial de conversión del catalizador y compararle con la eficacia nominal constada y tomar una decisión - como por ejemplo la inmovilización del vehículo o el paso de motor a modo degradado - si se considera que el sistema no funciona de modo nominal y necesita un mantenimiento para limitar los riesgos de contaminación.

5 Este módulo puede ser utilizado también para corregir la consigna de carga de amoníaco como se propone en la solicitud de patente FR2931201, según la cual cuando es detectada una anomalía del sistema SCR, en este caso una eficacia medida no conforme con las esperadas según el modelo, se modifica la cantidad de agente reductor que hay que inyectar, y si la puesta en práctica de este procedimiento conduce a un número de modificaciones sucesivas de igual naturaleza superior a un valor N predeterminado, se corrige el modelo matemático, y se reemplaza matemáticamente el modelo inicial por el modelo corregido.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento de control de un sistema de tratamiento de los NOx presentes en una línea de escape de un motor de combustión interna, comprendiendo el citado sistema medios para introducir en la línea de escape un agente reductor aguas arriba de un catalizador de reducción de los NOx, caracterizado por que se estima la eficacia del tratamiento con respecto a un potencial inyectado de conversión de los NOx máximo obtenido si la relación entre la cantidad de reductor inyectada y la cantidad de NOx en los gases respeta una consigna dada y si la masa de agente reductor almacenada en el catalizador respeta una consigna de almacenamiento dada, siendo estimada la citada masa
- 10 - sobre la base de una cartografía de base función de la temperatura de los gases de escape y de la relación NO₂/NO de los NOx, o
- 15 - integrando en función del tiempo la velocidad de almacenamiento del amoniaco inyectado en la línea y la velocidad de desalmacenamiento del amoniaco por reacción de los NOx, poniendo como condiciones a los límites que esta masa no puede ser inferior a 0, siendo estimada la velocidad de desalmacenamiento suponiendo que la relación estequiométrica R_{NH₃/NO_x} de la reacción de conversión de los NOx por el amoniaco depende de la relación NO₂/NO de los NOx del modo siguiente:
- Si R_{NO₂/NO} < 0,5 entonces R_{NH₃/NO_x} = 1
- Si no, R_{NH₃/NO_x} = (1 + 8(R_{NO₂/NO} - 0,50)) / (1 + 6*(R_{NO₂/NO} - 0,50)).
- 20 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que la velocidad de almacenamiento es estimada únicamente dependiente de la cantidad de amoniaco inyectada en la línea.
- 20 3. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que para un tipo de catalizador SCR dado, el potencial de conversión máximo es estimado a partir de una cartografía función de la temperatura del catalizador de reducción SCR y de la relación NO₂/NO de los NOx a la entrada del catalizador SCR.
- 25 4. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que la relación NO₂/NO de los NOx es estimada a partir de una cartografía en función de la temperatura y del tiempo de estancia de los gases de escape en un catalizador de oxidación aguas arriba dispuesto en la línea de escape y aguas arriba del catalizador SCR.
5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado por que el valor estimado a partir de la cartografía función del tiempo de estancia de los gases de escape en el catalizador de oxidación DOC es corregido por un factor dependiente del estado de envejecimiento del catalizador DOC.
- 30 6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, caracterizado por que el factor de envejecimiento es definido como la relación entre la duración acumulada de exposición por encima de una primera temperatura crítica que provoca una degradación del catalizador de oxidación y una duración de referencia de exposición a la primera temperatura crítica, para la cual la degradación del catalizador es completa.
- 35 7. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, caracterizado por que cuando el catalizador es expuesto a una segunda temperatura crítica, superior a la primera temperatura crítica, los tiempos de exposición son multiplicados por un factor corrector superior a 1.
- 40 8. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 4 a 7, caracterizado por que el tiempo de estancia de los gases de escape en el catalizador de oxidación DOC es estimado a partir de la temperatura y de la presión de los gases de escape a la salida del catalizador de oxidación y del caudal de los gases de escape aguas arriba del catalizador de oxidación.

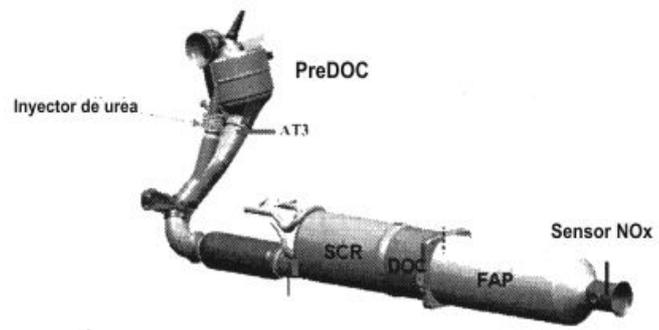


Figura 1

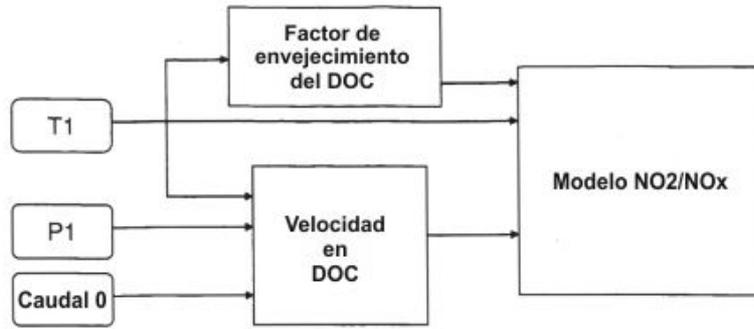


Figura 2

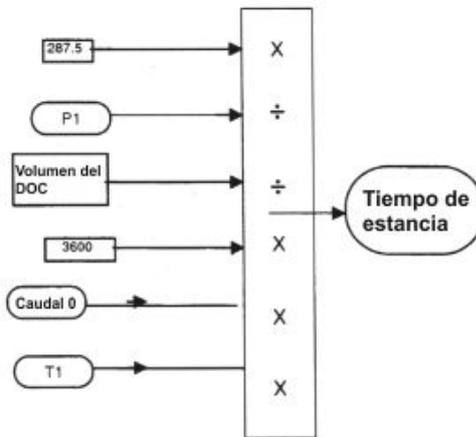


Figura 3

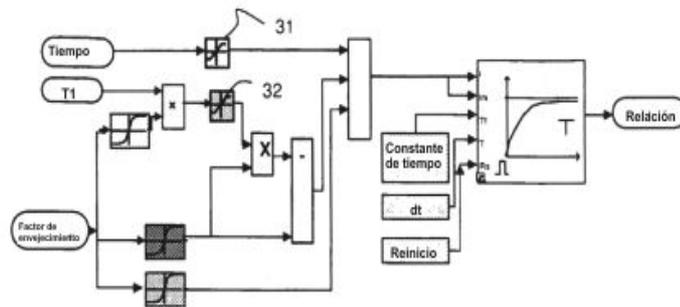


Figura 4

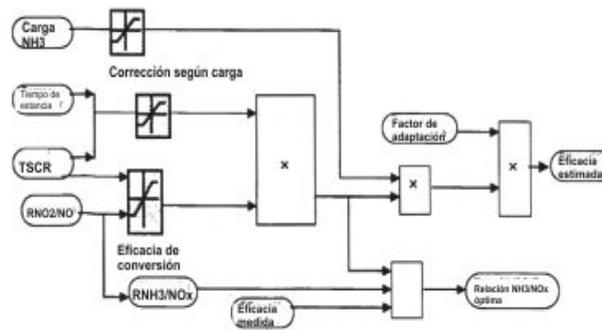


Figura 5



FIGURA 6

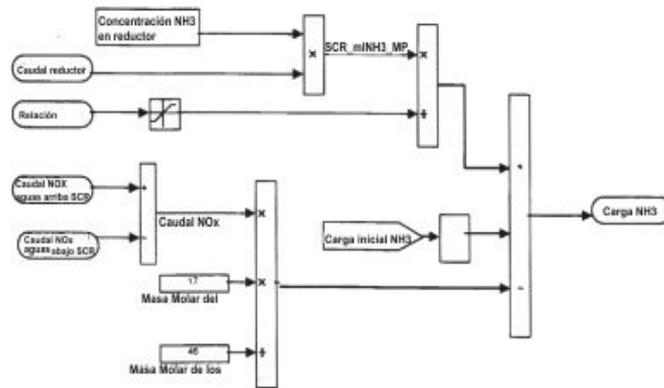


FIGURA 7