

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 474 617**

51 Int. Cl.:

F01N 11/00 (2006.01)

F01N 3/20 (2006.01)

F01N 3/023 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.10.2010 E 10785130 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.05.2014 EP 2501910**

54 Título: **Procedimiento de control de un sistema de tratamiento de los gases de escape de un motor de combustión interna**

30 Prioridad:

17.11.2009 FR 0958103

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

09.07.2014

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**CHARIAL, CHRISTOPHE y
GRISE, CLÉMENT**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 474 617 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 un sistema de tratamiento de los gases de escape de un motor de combustión interna

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, implica la producción en cantidad no despreciable de contaminantes que pueden ser descargados por el escape al medio ambiente y deterioros en éste. Entre estos contaminantes, los óxidos de nitrógeno (denominados NOX) plantean un problema particular puesto que se sospecha que estos gases son uno de los factores que contribuyen a la formación de las lluvias ácidas y a la deforestación. Además, los NOX están ligados 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 los legisladores 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 con mezcla denominada pobre, es decir con un excedente de oxígeno (de aire) con respecto a la estequiometría de la reacción de combustión. Las mezclas pobres son habituales en los motores denominados diesel, cuyo encendido es obtenido por compresión.

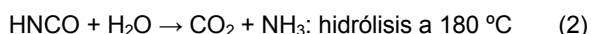
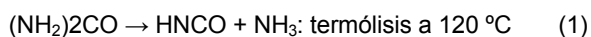
15 Para estas dos grandes categorías de contaminantes, se ponen en práctica diferentes medios de descontaminación y estrategias de combustión.

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 de nido de abeja de cerámica. El hollín así filtrado se acumula y se elimina en una operación de regeneración del filtro durante la cual aquél es quemado. Sin embargo, para obtener esta regeneración, es necesario aumentar la temperatura de los gases de escape, lo que se obtiene típicamente enriqueciendo estos 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, para facilitar la combustión del hollín se utiliza un agente catalítico, 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.

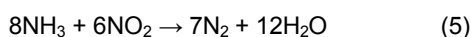
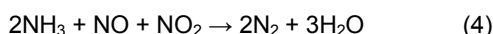
25 Para limitar las emisiones de NOx, la principal vía puesta en práctica en los vehículos actuales ha sido la reducción de las emisiones de la fuente, dicho de otro modo, operando el motor en condiciones tales que las tasas de NOx producidos sean inferiores a las tasas límites. Estas condiciones se consiguen especialmente gobernando 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 de oxígeno favorable para la formación de los óxidos de nitrógeno.

30 Sin embargo, no es posible reducir drásticamente las emisiones en la fuente sin limitar ciertas prestaciones del motor. Por esta razón, se han propuesto diferentes soluciones para desnitrificar los gases de escape. Una solución que ha hecho prueba de su eficiencia especialmente para los vehículos de gran tonelaje es la conversión química por reducción de los óxidos de nitrógeno por medio de un agente reductor inyectado directamente en la línea de escape. Así, una solución de post-tratamiento que ha hecho prueba de su eficiencia es la utilización de una fuente de amoníaco (NH₃), tal como la urea acuosa. El amoníaco reacciona con los NO_x 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 comúnmente es el amoníaco, almacenado en forma de urea, siendo obtenido el amoníaco por termólisis / hidrólisis de la urea en la línea de escape, según las reacciones siguientes:



40 El catalizador SCR es utilizado entonces para favorecer la reducción de los NOx por NH₃ según las 3 reacciones siguientes:



Siendo a su vez el amoníaco un gas considerado como tóxico, es importante que la cantidad de urea inyectada esté en cualquier momento adaptada a la cantidad de óxidos de nitrógeno que haya que tratar.

5 Se excluye 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 para un motor que funciona de modo predominante en regímenes transitorios, como un motor de un vehículo automóvil.

Sin embargo, la cantidad de NOx puede ser estimada especialmente sobre la base de una cartografía de 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 hay que inyectar plantea numerosas dificultades. En efecto, el amoníaco 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 de almacenar amoníaco, compitiendo una reacción de desorción con la reacción de adsorción. Por el contrario, 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 de obtener un perfecto control de las emisiones.

15 Así pues, sería 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 dicho mal funcionamiento.

20 Una de las dificultades para estimar el buen funcionamiento de un sistema SCR es que se conoce mal la naturaleza exacta de los gases que hay que tratar. En efecto, los NOx constituyen de hecho en parte monóxido de nitrógeno y en parte dióxido de nitrógeno, por considerar solamente las dos especies principales. Ahora bien, la capacidad de tratamiento depende de la relación entre estas dos especies.

25 Esta relación es muy difícil de medir incluso en banco de motor, procediendo la mayoría de los medios de análisis en una primera etapa a una oxidación total de los óxidos de nitrógeno. Se comprende entonces que es todavía más difícil evaluarla en tiempo real en un vehículo, puesto que el envejecimiento de por ejemplo algunos de los órganos del motor puede conducir a derivas de esta relación.

30 De acuerdo con la invención, se propone así un procedimiento de control de un sistema de tratamiento de los gases de escape presentes en una línea de escape de un motor de combustión interna, caracterizado por la estimación de la relación molar entre el dióxido de nitrógeno y el monóxido de nitrógeno, a la entrada de medios de tratamiento de los gases que provocan una reducción de los óxidos de nitrógeno, estimación hecha a partir de una cartografía dependiente del tiempo de permanencia de los gases de escape en un catalizador de oxidación dispuesto aguas arriba de los medios de tratamiento de los gases que provocan una reducción de los óxidos de nitrógeno, estando constituidos los citados medios de tratamiento de los gases que provocan una reducción de los óxidos de nitrógeno por medios de inyección de un reductor y un catalizador de reducción selectiva, aguas abajo de estos medios de inyección.

35 En una variante, el valor estimado a partir de la cartografía función del tiempo de permanencia de los gases de escape en el catalizador de oxidación DOC es corregido por un factor que depende del estado de envejecimiento del catalizador DOC.

40 En una variante, el factor de envejecimiento se define 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.

En una variante, 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.

45 En una variante, se estima el tiempo de permanencia de los gases de escape en el catalizador de oxidación DOC 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.

En una variante, medios de tratamiento de los gases que provocan una reducción de los óxidos de nitrógeno están constituidos por un filtro de partículas capaz de operar en un modo denominado de conversión continua.

50 Otros detalles y características ventajosas de la invención se pondrán de manifiesto en la descripción detallada hecha seguidamente 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;

- Figura 3: un esquema que ilustra el cálculo del tiempo de permanencia de los gases de escape en el catalizador de oxidación;
- Figura 4: un esquema del principio del modelo de estimación de la relación NO_2/NO a la salida del catalizador de oxidación;
- 5 • Figura 5: un esquema del principio del módulo de cálculo de la eficiencia del sistema SCR;
- Figura 6: la forma de la variación de la eficiencia de un catalizador SCR en función de su carga de amoníaco;
- Figura 7: un esquema del principio de un módulo de cálculo de la carga de amoníaco en el catalizador.

10 Hay que señalar 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 un exceso de oxígeno con respecto a la estequiometría de la reacción de combustión del carburante, en el ejemplo especialmente motores de encendido por compresión denominados diesel.

15 En la descripción que sigue, por motivos de 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 hidrógeno o amoníaco está almacenado en forma gaseosa o es 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).

20 Además, se supone que este agente reductor es efectivamente amoníaco, y por motivos de claridad, en lo que sigue de la descripción se utiliza sistemáticamente la designación (NH_3), aunque la invención no está limitada a este modo de realización.

25 La figura 1 es una vista esquemática de un motor y de su línea de tratamiento de los gases de escape. En la entrada de la 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 carbono, en las cámaras de combustión del motor. Tal disposición lo más próxima al motor, por tanto en la región más caliente de la línea de escape, garantiza un máximo de eficiencia 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.

30 Este sistema de tratamiento está constituido esencialmente por un inyector, unido a una fuente de agente reductor, no representada, y aguas abajo de ésta, un catalizador de reducción selectiva, denominado catalizador SCR. De modo bien conocido, un catalizador de este tipo puede estar constituido por una zeolita depositada sobre un soporte de cerámica, por ejemplo de tipo corderita. Con tal catalizador a base de zeolita, se promueve muy poco la reacción de conversión de los NO en NO_2 . Por el contrario, con otros catalizadores, que contienen platino o paladio, esta conversión resultará más favorecida.

35 Si el reductor no es inyectado directamente en su forma final, sino en la 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 permite una arquitectura de línea relativamente compacta.

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

Finalmente, está previsto un sensor de los NO_x a fin de asegurarse de que las emisiones del vehículo son siempre inferiores a una norma de emisión vigente.

45 En lo que sigue de esta memoria, se indicarán 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.

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

50 En cualquier instante, puede calcularse la eficiencia 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 NOx emitida al final de la línea es estimada con la ayuda de un sensor de NOx montado aguas abajo de los dispositivos de tratamiento.

5 La cantidad de NOx 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 un banco de motor asociado a una unidad de análisis químico y cuantitativo de los gases de escape.

10 Durante la fase de puesta a punto del motor, se define para cada punto de funcionamiento del motor (que se puede definir como una demanda de par motor a un régimen motor dado), 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. Esos parámetros son transmitidos al control del motor por medio de un juego de cartografías que permiten tener en cuenta parámetros tales como la temperatura exterior, la altura (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 bien para cada punto de funcionamiento del motor, en condiciones exteriores dadas, un caudal másico instantáneo de NOx producido por este motor. Eventualmente, pueden preverse igualmente cartografías para condiciones de funcionamiento degradadas, por ejemplo en la hipótesis de una ausencia de recirculación de los gases debida a un mal funcionamiento de la válvula EGR.

15 El sistema SCR tiene un funcionamiento nominal si esta eficiencia constatada es conforme a un modelo teórico de este sistema que permite definir el potencial de conversión máxima en las condiciones dadas.

20 Para construir este modelo, se observa en primer lugar que un catalizador presenta una capacidad de reducción que es función de su temperatura y de la naturaleza del gas que hay que tratar, dicho de otro modo, de la relación NO₂/NO indicada en lo que sigue por R NO₂ / NO.

25 En tanto que no se alcance la temperatura mínima de activación (denominada temperatura de Light-off), el catalizador es esencialmente inerte. Por encima de ésta, su eficiencia aumenta hasta que se llegue a una zona de funcionamiento óptima. Esta eficiencia no es universal sino que naturalmente depende 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 NO₂ / NO.

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

30 En una primera variante de la invención, esta relación R NO₂ / 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.

35 En la práctica, este análisis es relativamente complicado, y generalmente, se limita simplemente a determinar las diferentes especies, la fracción NOx, suma de los NO₂ y de los NO que es considerada como un todo (como por otra parte es el caso con las normas reglamentarias vigentes) y el análisis de los gases se efectúa de modo más simple tras la oxidación completa del gas, por tanto 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 modo más simple.

40 Entre la salida del motor y el catalizador de reducción catalítica, una oxidación de una parte de los NO se realizará en el catalizador de oxidación DOC. Por esta razón, uno de los objetos de la presente invención es proponer un modelo para estimar esta relación R NO₂ / NO, caracterizándose este modelo por que la relación es estimada en función del tiempo de permanencia de los gases en el catalizador de oxidación, y ponderada según un factor de envejecimiento del catalizador de oxidación.

45 Este modelo corresponde en lo esencial al esquema propuesto en la figura 2 en el 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 NO₂ / 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 NO₂ / NO a partir del resultado de estos dos módulos precedentes.

Módulo factor de envejecimiento del catalizador de oxidación

50 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 más allá de la cual las prestaciones del catalizador DOC se degradan inmediatamente. 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.

Se puede definir entonces un factor de tiempo normalizado como la relación entre este contador de tiempo y un contador de referencia, correspondiente a la duración acumulada de exposición por encima de la temperatura crítica que provoca una degradación completa del catalizador DOC. Así, si el contador de tiempo alcanza o rebasa esta duración de referencia, el factor de envejecimiento será fijado igual a 1. Un catalizador DOC nuevo, nunca expuesto a una temperatura por encima de la temperatura de referencia, tendrá por su parte un factor de envejecimiento igual a 0.

Tiempo de permanencia de los gases en el catalizador de oxidación

Este módulo está ilustrado en la figura 3 y se basa esencialmente en la ley de los gases perfectos, con tres datos de entrada, la temperatura T1 (expresada en °Kelvin), y la presión aguas abajo P1 del catalizador de oxidación (expresada en Pascales) y el caudal de los gases de escape aguas arriba del catalizador (expresado en g/s), es decir el caudal de los gases producidos por el motor, menos el de los gases admitidos en el circuito EGR si el motor está adecuadamente 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.

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 y 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, la masa molar se puede aproximar a 29, considerando que estos están constituidos esencialmente por productos de la combustión por el oxígeno del aire del 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. De esta se deduce la masa de los gases en el catalizador DOC.

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

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

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

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

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 de este catalizador, y dependiente por una parte solamente de la capacidad de oxidación del catalizador de oxidación y por otra del tiempo de permanencia de los gases en el catalizador. Para una elección de arquitectura dada, y un estado de envejecimiento dado, el único parámetro variable en función de las condiciones de operación del motor y que afecta a esta capacidad de oxidación es la temperatura en el catalizador.

La figura 4 ilustra el módulo de estimación de la relación NO₂/NO a la salida del catalizador de oxidación.

Una primera cartografía 31 es utilizada para seleccionar un valor de la relación NO₂/NO según el tiempo de permanencia 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.

El envejecimiento del catalizador DOC afecta a su rendimiento al menos desde dos puntos de vista: por una parte, su temperatura de cebado aumenta y, por otra, por encima de esta temperatura de cebado, la capacidad de oxidación se degrada. Así pues, se podrán utilizar dos cartografías específicas para probar si el catalizador DOC opera bien en esta franja de temperatura adaptada, 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 que para bajas temperaturas (justo por encima de la temperatura de cebado), 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 de banda de orden 1 para alisar la dinámica fuerte del tiempo de permanencia, ligada a las fuertes variaciones del caudal en la línea de escape.

Siendo estimada la relación NO_2/NO , es posible comenzar a modelizar la reducción en el catalizador SCR, suponiéndose 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

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

10 El catalizador de reducción tiene una afinidad muy grande para el amoníaco y por debajo de un cierto umbral mínimo de carga de 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 de NH_3 , se supera la capacidad de almacenamiento y el catalizador libera amoníaco, 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 intentan minimizar.

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

20 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 de modo que la cantidad de amoníaco almacenada se establezca en este nivel de consigna óptimo.

25 Hay que observar que el amoníaco almacenado en el catalizador no se volatiliza a causa de la parada del vehículo, de modo que la masa modelizada puede ser ventajosamente memorizada al final de cada fase de rodaje por el usuario como masa inicial durante el rodaje siguiente. A tal efecto, se puede utilizar por ejemplo una memoria no volátil, a ejemplo de una memoria muerta borrable eléctricamente y programable de tipo EEPROM (acrónimo de « Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory »).

30 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. Se supone que el amoníaco es inyectado en forma de una solución acuosa con el 32,5% (en masa) de urea. Para cada gramo de solución, puede calcularse fácilmente que el catalizador se carga con 0,184 g de catalizador.

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

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

La masa de NH_3 modelizada en el catalizador puede ser reinicializada igualmente durante un rodaje a un nuevo valor por la estrategia de adaptación o por una calibración.

40 Aparte de de esta cantidad de amoníaco almacenada en el catalizador, se encuentra naturalmente en un momento dado una cierta cantidad de amoníaco disponible para la reacción de reducción de los NO_x . Si la relación RNO_2/NO es inferior a 0,5, se estima de acuerdo con la invención que un mol de óxidos de nitrógeno (NO o NO_2) reacciona con un mol de amoníaco. Si esta relación es superior a 0,5, más de un mol de óxidos de nitrógeno reacciona con un mol de amoníaco, y una relación estequiométrica indicada por RNH_3/NO puede ser definida como sigue:

45 Si $\text{RNO}_2/\text{NO} < 0,50\%$ entonces $\text{RNH}_3/\text{NO}_x = 1$

Si no, $\text{RNH}_3/\text{NO} = (1+8(\text{RNO}_2/\text{NO}-0,50))/(1+6*(\text{RNO}_2/\text{NO}-0,50))$

C- Potencial de conversión del catalizador SCR

50 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 cebado (por ejemplo del orden de para un catalizador de tipo zeolita...), condición que no es satisfecha en los primeros instantes siguientes a un arranque del motor.

Finalmente, esta capacidad depende de la temperatura del catalizador SCR y de la relación NO_2/NO a la entrada del catalizador

Así pues, a partir de una estimación de esta relación NO_2/NO y de la temperatura del catalizador, se puede definir un potencial de conversión máximo, en la hipótesis de que la consigna de inyección ha permitido respetar bien la consigna de almacenamiento de amoníaco por una parte, y la relación RNH_3/NO .

5 Este potencial de conversión máximo refleja las condiciones reales instantáneas, por tanto una separación entre éste y la eficiencia observada se traduce en un mal funcionamiento del sistema, mal 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.

10 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 amoníaco 41, el tiempo de permanencia 42 de los gases de escape en el catalizador SCR, la temperatura del catalizador SCR 43 y la relación RNO_2/NO .

La temperatura del catalizador no es homogénea, ni longitudinal 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. Así pues, en este módulo, importa simplemente que esta temperatura sea estimada en un punto dado del catalizador.

15 La figura 6 muestra la forma de la variación de la eficiencia de un catalizador SCR en función de su carga de amoníaco. Así pues, la carga 41 puede ser convertida por medio de una cartografía o de una función de transferencia 45 en un potencial de conversión estimado.

20 Este valor va a ser corregido una primera vez para tener en cuenta el tiempo de permanencia de los gases en el catalizador y la temperatura de éste, para reflejar el hecho de que la cinética de la reacción de reducción es tanto mayor cuanto más caliente esté que el catalizador y la reacción necesita un cierto lapso de tiempo, de modo que si el tiempo de permanencia se acorta (caudal de gases de escape más elevado en razón de un aumento del régimen del motor), entonces la eficiencia será menor a igual temperatura. Esta corrección es efectuada sobre la base de un factor comprendido entre 0 y 1 obtenido en 46.

25 Por otra parte, como se indicó anteriormente, la eficiencia de la conversión de los NO_x depende igualmente de la relación NO_2/NO , en 47 se determina otro factor multiplicativo comprendido entre 0 y 1, igualmente a partir de una cartografía apropiada.

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

30 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 amoníaco un poco inferior a la cantidad que debería permitir obtener los mejores resultados, a fin de asegurar un intervalo de tiempo mínimo entre dos llenados de depósito de reductor.

35 El módulo permite así estimar el potencial de conversión del catalizador y compararle con la eficiencia nominal constatada, y tomar una decisión – como por ejemplo la inmovilización del vehículo o el paso del motor a modo degradado – si se juzga que el sistema no funciona de modo nominal y necesita un mantenimiento para limitar los riesgos de contaminación.

40 Este módulo puede ser utilizado también para corregir la consigna de carga de amoníaco como se propuso en la solicitud de patente FR-2 931 201, según la cual, cuando se detecta una anomalía del sistema SCR, en este caso una eficiencia medida no conforme a lo que se espera 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 misma naturaleza superior a un valor N predeterminado, se corrige el modelo matemático, y se reemplaza el modelo matemático inicial por el modelo corregido.

45

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento de control de un sistema de tratamiento de los gases de escape presentes en una línea de escape de un motor de combustión interna, caracterizado por la estimación de la relación molar entre el dióxido de nitrógeno y el monóxido de nitrógeno a la entrada de medios de tratamiento de los gases que provocan una reducción de los óxidos de nitrógeno, estimación hecha a partir de una cartografía dependiente del tiempo de permanencia de los gases de escape en el catalizador de oxidación dispuesto aguas arriba de los medios de tratamiento de los gases que provocan una reducción de los óxidos de nitrógeno, estando contruidos los citados medios de tratamiento de los gases que provocan una reducción de los óxidos de nitrógeno por medios de inyección de un reductor y un catalizador de reducción selectiva, aguas abajo de estos medios de inyección.
- 10 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que el valor estimado a partir de la cartografía función del tiempo de permanencia de los gases de escape en el catalizador de oxidación DOC es corregido por un factor que depende del estado de envejecimiento del catalizador DOC.
- 15 3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, 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.
- 20 4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 3, caracterizado por que cuando el catalizador de oxidación DOC 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.
- 25 5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que el tiempo de permanencia 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.
6. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que los citados medios de tratamiento de los gases que provocan una reducción de los óxidos de nitrógeno están contruidos por un filtro de partículas capaz de operar en un modo denominado de conversión continua.

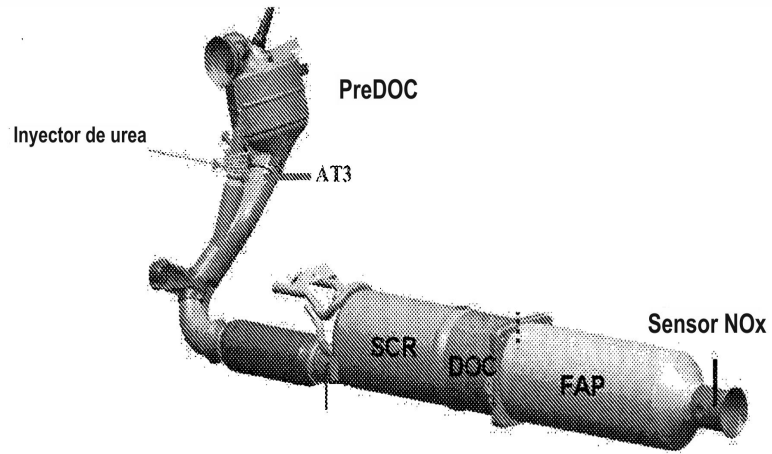


Figura 1

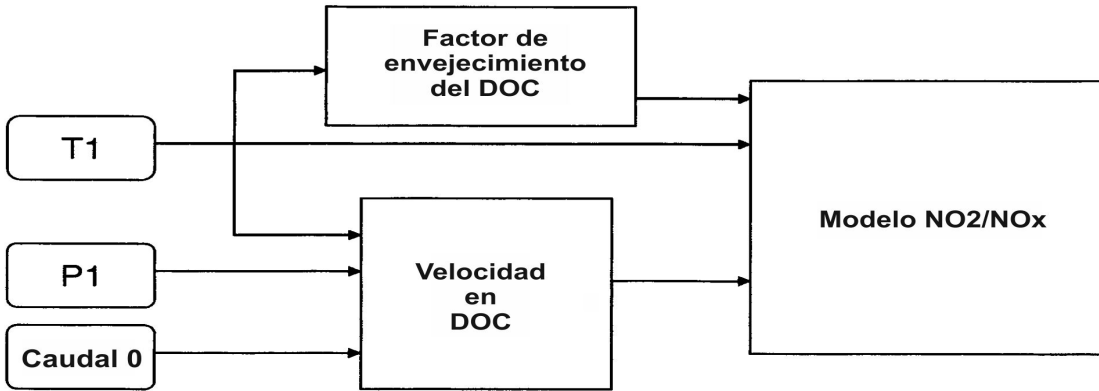


Figura 2

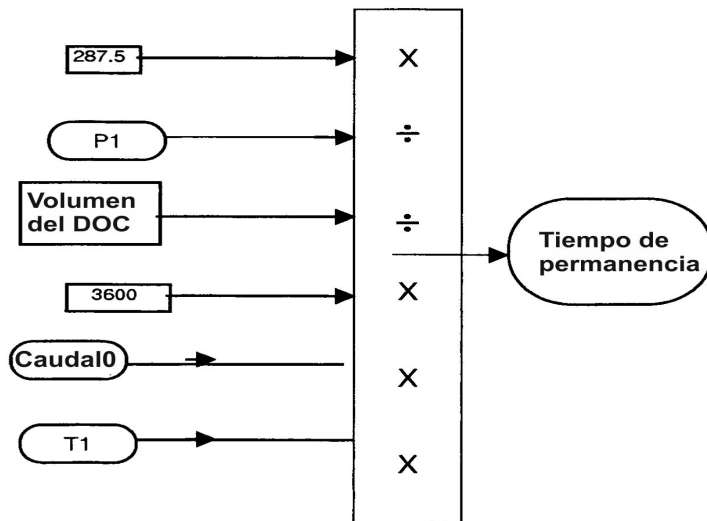


Figura 3

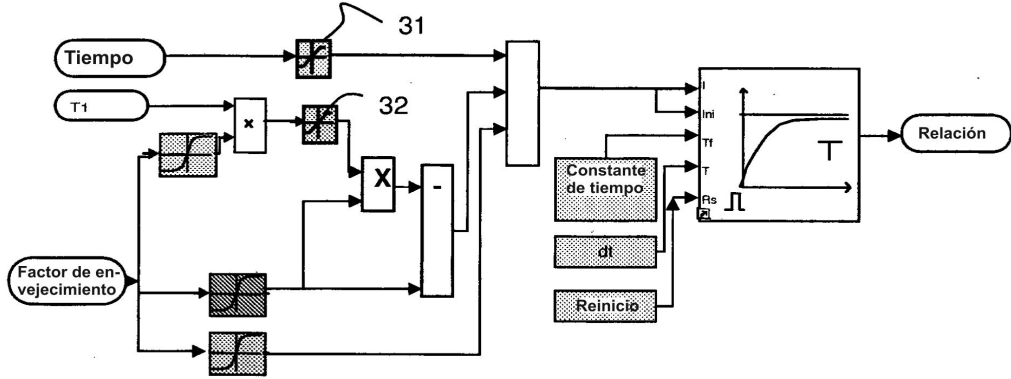


Figura 4

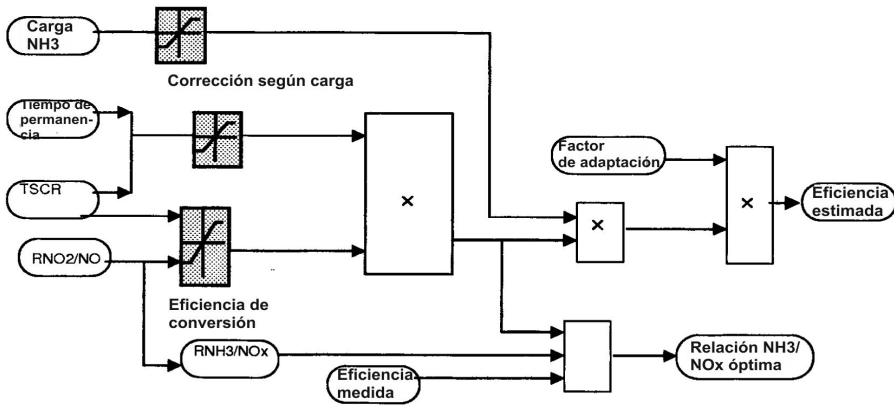


Figura 5

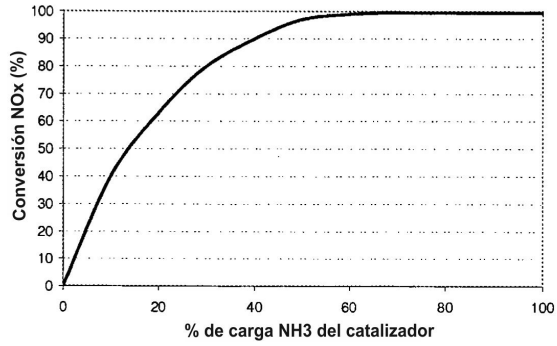


Figura 6

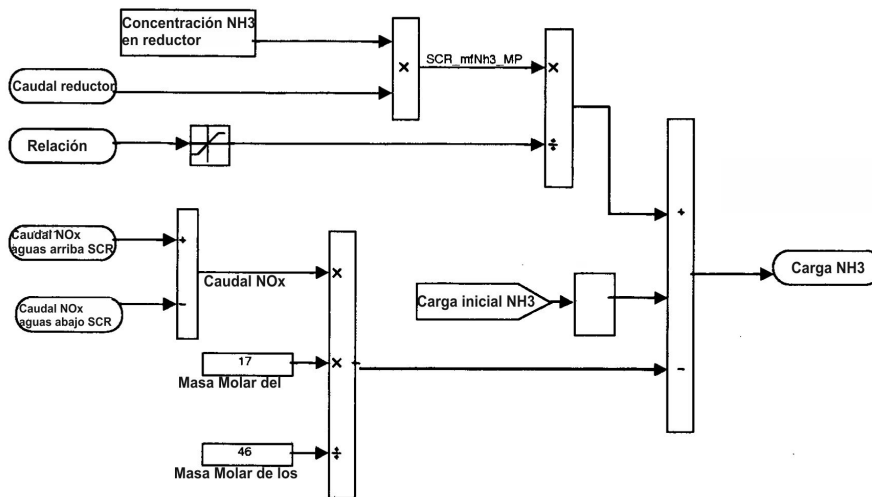


Figura 7