

**MÉTODO PARA CONTROLAR SUPERDETONACIONES DE MOTOR DE
GASOLINA SOBREALIMENTADOS DE INYECCIÓN DIRECTA**

Esta solicitud reivindica el beneficio de prioridad a la Solicitud de Patente
5 China nº. 201510041093.7, titulada "MÉTODO PARA CONTROLAR LA
SUPERDETONACIÓN DE MOTOR DE GASOLINA TURBOALIMENTADO DE
INYECCIÓN DIRECTA", presentada ante la Oficina de Propiedad Intelectual
del Estado Chino el 27 de enero de 2015, cuya divulgación se incorpora aquí
por referencia en su totalidad.

10 CAMPO

La presente solicitud se refiere al campo técnico del control de la
combustión de motores de gasolina turboalimentados de inyección directa, y en
particular, a un método para controlar una superdetonación de un motor de
gasolina turboalimentado de inyección directa.

15 ANTECEDENTES

La combinación de tecnologías de inyección directa de carburante y
turboalimentación es un método eficaz para la miniaturización, el ahorro
energético y la reducción de emisiones de motores de gasolina. Puesto que es
mucho más fácil controlar la combustión y las emisiones de una mezcla
20 estequiométrica homogénea de aire y carburante en comparación con una
mezcla estratificada de aire y carburante, los motores de gasolina
turboalimentados de inyección directa que emplean una combustión
estequiométrica homogénea se están convirtiendo cada vez más en la corriente
principal del mercado de motores de gasolina turboalimentados pequeños.

25 Para el tipo de motores anterior, a bajas velocidades y cargas elevadas, a

menudo se encuentra una superdetonación inducida por el pre-encendido de la mezcla en los cilindros. El pre-encendido es comúnmente provocado por la combustión espontánea del aceite del motor que entra en el cilindro. Las fluctuaciones de la presión del cilindro durante la detonación pueden alcanzar el orden de magnitud de la presión máxima del cilindro en un ciclo de combustión normal, y por lo tanto, esta combustión anormal se caracteriza también como una superdetonación.

En la práctica, la superdetonación se produce principalmente en una condición de trabajo de carga alta a baja velocidad en la que la velocidad de giro del motor es inferior a 2500 rpm y la presión efectiva media de frenado es superior a 16 bar. Cuando la superdetonación se produce con frecuencia, pueden producirse fallos en las partes del motor, por ejemplo, ablación de una bujía y de las válvulas de escape provocadas por el sobrecalentamiento, fusión de la corona del pistón, la perforación del pistón o el rozamiento del pistón o la flexión de una biela. Las ondas de presión de alta frecuencia en el cilindro generadas por la superdetonación pueden limpiar las partículas de aceite del motor residuales en el cilindro o el carbono depositado en la pared de la cámara de combustión que podría convertirse en activadores para el pre-encendido. Este mecanismo de autolimpieza hace que la superdetonación ocurra de forma muy aleatoria y no persistente.

Puesto que el pre-encendido se activa por el encendido automático del aceite del motor, la superdetonación no se puede mitigar con el retardo del momento de encendido como en el control de detonaciones convencionales. De hecho, cuanto mayor es el retardo de momento de encendido, más fuerte será la superdetonación. Además, la fuente del aceite de motor que

desencadena el pre-encendido y la posición de encendido no está todavía clara y no es práctico eliminar el aceite de motor adherido sobre la superficie de pared de la cámara de combustión del cilindro del motor. Por lo tanto, actualmente no hay un método eficaz para controlar la superdetonación.

- 5 Por lo tanto, una cuestión que debe abordarse urgentemente por el experto en la materia es desarrollar un método para controlar la superdetonación de un motor de gasolina turboalimentado de inyección directa, para controlar eficazmente la superdetonación.

RESUMEN

- 10 Un objeto de la presente solicitud es proporcionar un método para controlar la superdetonación de un motor de gasolina turboalimentado de inyección directa que puede controlar eficazmente la superdetonación.

- Para abordar la cuestión técnica anterior, se proporciona un método para controlar la superdetonación de un motor de gasolina turboalimentado de inyección directa de acuerdo con la presente solicitud, que incluye etapas:
- 15

- 1) identificar un cilindro en el que se produce la superdetonación debido al pre-encendido desencadenado por el encendido automático de un aceite de motor que entra en el cilindro, y marcar el cilindro como un cilindro de superdetonación; y
- 20 2) retrasar la inyección de carburante final del cilindro de superdetonación hasta una carrera de compresión y controlar un momento de la inyección de carburante final para permitir que un ángulo del cigüeñal para formar una mezcla combustible no esté por delante del ángulo del cigüeñal correspondiente al pre-encendido.

- 25 En el método de control de acuerdo con la presente solicitud, cuando se

identifica que hay un cierto cilindro en el que se produce la superdetonación debido al pre-encendido desencadenado por el encendido automático del aceite, este cilindro se marca como un cilindro de superdetonación, y una estrategia independiente de control de inyección de carburante se realiza en el

5 cilindro de superdetonación, para controlar la superdetonación con eficacia. En el proceso de funcionamiento del motor, la inyección de carburante de cada ciclo puede realizarse varias veces, puesto que las concentraciones de la mezcla aire-carburante formadas por las varias veces anteriores de inyección de carburante están en el límite inferior de inflamabilidad, la energía de

10 encendido requerida es alta y no es fácil formar una llama estable, por lo tanto, las condiciones físicas requeridas por la combustión estable de la mezcla aire-carburante se controlan mediante la inyección de carburante final. Puesto que el pre-encendido se produce en la carrera de compresión de un motor de combustión interna, si la inyección de carburante final se produce en la carrera

15 de admisión, en el proceso de admisión a compresión, es muy probable que se forme una mezcla aire combustible-carburante y se encenderá cuando el aceite del motor que entra en el cilindro se encienda automáticamente, lo que puede desencadenar el pre-encendido de la mezcla aire-carburante. Basándose en el principio anterior, la inyección de carburante final podría retrasarse hasta la

20 carrera de compresión y el momento específica de la inyección de carburante se puede controlar para permitir que la mezcla aire combustible-carburante se forme solo antes del encendido de la bujía, evitando de este modo que la mezcla aire gaseoso-carburante se encienda demasiado temprano. Por lo tanto, el método de control de acuerdo con la presente solicitud es simple, y

25 simplemente requiere controlar el momento de la inyección de carburante del

cilindro de superdetonación individual, la operación tiene una alta fiabilidad; y el cilindro de superdetonación identificado puede ser uno o más de uno. Las pruebas verifican que el método de control anterior puede controlar eficazmente la superdetonación.

- 5 Opcionalmente, la etapa 1) incluye: determinar si existe un cilindro en el que se produce la superdetonación debido al pre-encendido desencadenado por el aceite de motor de encendido automático que entra en el cilindro; si existe un cilindro en el que se produce la superdetonación debido al pre-encendido desencadenado por el encendido automático del aceite de motor
- 10 que entra en el cilindro, marcar el cilindro como un cilindro de superdetonación y proceder a la etapa 2); y si no hay ningún cilindro en el que se produce la superdetonación debido al pre-encendido desencadenado por el encendido automático del aceite del motor que entra en el cilindro, terminar el proceso.

- Opcionalmente, el método incluye además, después de la etapa 2), las
- 15 etapas de:

- 3) determinar si se inhibe la superdetonación; si se inhibe la superdetonación, terminar el proceso; y si la superdetonación no se inhibe, proceder a la etapa 4); e
- 4) incrementar una cantidad de inyección de carburante en cada vez
- 20 que se inyecta carburante en cada uno de los cilindros, para permitir que una concentración de una mezcla aire-carburante formada después de la inyección de carburante final corresponda a una velocidad de llama máxima y controlar el momento de la inyección de carburante final de cada uno de los cilindros de acuerdo con la etapa 2).
- 25 Opcionalmente, el método incluye además, después de la etapa 4), las

etapas de:

5) determinar si se inhibe la superdetonación; si se inhibe la superdetonación, terminar el proceso, y si no se inhibe la superdetonación, proceder a la etapa 6); y

5 6) realizar la limitación del par motor en el motor, para permitir que el motor funcione fuera de una región de superdetonaciones.

Opcionalmente, en la etapa 6), se reduce un par motor del motor y se aumenta una velocidad del motor, para permitir que el motor funcione fuera de la región de superdetonaciones con la misma potencia de salida.

10 Opcionalmente, en la etapa 6), el motor funciona a un par motor reducido y a una velocidad aumentada durante al menos 500 ciclos de operación o 30 segundos, y después se detiene.

Opcionalmente, en la etapa 3) y en la etapa 5), si se inhibe la superdetonación, el motor continúa funcionando durante al menos 500 ciclos de funcionamiento o al menos 30 segundos de acuerdo con la etapa 2) o la etapa 4), y después se detiene.

Opcionalmente, en la etapa 2) y en la etapa 4), se realiza al menos tres veces la inyección de carburante en cada ciclo, y una cantidad de inyección de carburante de la inyección de carburante final oscila entre el 25 % y el 33 % de una cantidad de inyección de carburante total.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

la Figura 1 es un diagrama de flujo esquemático de un método para controlar una superdetonación de un motor de gasolina turboalimentado de inyección directa de acuerdo con la presente solicitud en una realización;

25 la Figura 2 es una vista esquemática que muestra el principio del método

de acuerdo con la presente solicitud en una primera realización;

la Figura 3 es una vista esquemática que muestra el principio del método de acuerdo con la presente solicitud en una segunda realización;

la Figura 4 es una vista esquemática que muestra la relación de una
5 velocidad de llama y una energía de encendido de una mezcla aire-carburante con un factor de exceso de aire; y

la Figura 5 es una vista esquemática que muestra una estructura de sistema de un motor de gasolina turboalimentado de inyección directa.

Números de referencia en las Figuras 1 -5:

- | | | |
|----|----|--|
| 10 | 1 | compresor de turbocompresor, |
| | 2 | intercooler, |
| | 3 | acelerador electrónico, |
| | 4 | colector de admisión, |
| | 5 | sistema de suministro de carburante Common Rail de alta presión, |
| 15 | 6 | motor, |
| | 7 | inyector de múltiples orificios, |
| | 8 | cilindro, |
| | 9 | colector de escape, |
| | 10 | turbina de gas de escape del turbocompresor, |
| 20 | 11 | sensor de oxígeno de escape del motor, |
| | 12 | convertidor de catalizador de tres vías. |

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Un núcleo de la presente solicitud es proporcionar un método para controlar una superdetonación de un motor de gasolina turboalimentado de
25 inyección directa, que puede controlar eficazmente la superdetonación.

El método de acuerdo con la presente solicitud se ilustra con referencia a dibujos y realizaciones, para permitir que la persona experta en la materia comprenda con mayor precisión la presente solicitud.

5 Tal como se describe en la tecnología anterior, cuando un motor de gasolina turboalimentado de inyección directa se acciona bajo una condición de operación de carga baja y a alta velocidad, las partículas de aceite del motor traídas dentro de un cilindro por la recirculación de ventilación del cárter quedarán retenidas en una superficie de pared de una cámara de combustión en un proceso de barrido; y bajo la acción de la temperatura de la superficie de la pared de la cámara de combustión y la temperatura del gas en una fase de compresión posterior, las partículas de aceite del motor retenidas sobre la superficie de la pared de la cámara de combustión se vaporizarán y las superficies de las partículas de aceite el motor podrán alcanzar el límite de inflamabilidad, causando así un encendido automático similar al encendido automático de las partículas de aceite diésel, y el aceite de motor de encendido automático desencadena también el pre-encendido de una mezcla aire-carburante. Puesto que el tiempo de encendido es demasiado temprano, y la superficie de la pared de la cámara de combustión tiene también otras fuentes de encendido, la mezcla aire-carburante en una zona no quemada puede alcanzar rápidamente el límite de inflamabilidad, lo que desencadena una superdetonación que tiene una intensidad mucho mayor que una detonación normal.

10
15
20

En la actualidad, la fuente del aceite de motor que activa el pre-encendido y la posición de encendido no está todavía clara y no es posible eliminar completamente el aceite de motor adherido sobre la superficie de la pared de la

25

cámara de combustión en el cilindro. En vista de las situaciones anteriores, la presente solicitud se centra en mitigar o eliminar las condiciones que desencadenan las detonaciones, empezando con el mecanismo para la generación de la superdetonación, para restringir la superdetonación. La
5 superdetonación tiene un mecanismo similar a la detonación normal, es decir, la superdetonación es causada también por en la situación de que la mezcla aire-carburante combustible en una zona no quemada se enciende automáticamente antes de que la llama de la mezcla aire-carburante encendida alcance la zona no quemada. Cuanto antes se produzca el pre-encendido,
10 mayor será la región en la que se produce el encendido automático y más fuerte será la intensidad de la detonación. En vista de que la superdetonación tiene una gran potencia destructiva para el motor, la forma de inhibir la superdetonación se ha convertido en una cuestión que debe tenerse en cuenta en el desarrollo de motores de gasolina turboalimentados de inyección directa.

15 En vista de las cuestiones técnicas anteriores, la presente solicitud evita la fuente de encendido que es difícil de controlar, es decir, evita el encendido automático del aceite de motor en el cilindro, y comienza con el objeto que se va a encender, para controlar la superdetonación controlando un momento para formar una mezcla aire-carburante combustible.

20 Como se muestra en la Figura 1, el método de acuerdo con la presente solicitud puede incluir las siguientes etapas S1 a S7.

En la etapa S1, se adquieren señales dentro de una ventana de pre-encendido pre-calibrada, es decir, los sensores de detonación monitorean las vibraciones de un motor, y las señales diferentes de las señales dentro de la
25 ventana de pre-encendido pre-calibrada se filtran por un filtro de las señales de

vibración del motor detectadas, es decir, las señales de vibración del motor fuera de un intervalo de ángulo del cigüeñal correspondientes al pre-encendido desencadenado por un encendido automático del aceite del motor se filtran por el filtro de las señales de vibración del motor detectadas.

5 En la etapa S2, las señales de vibración del motor de cada uno de los cilindros detectados por los sensores de detonación dentro de la ventana de pre-encendido se comparan con las señales de vibración del motor pre-calibradas durante la combustión normal, para determinar si hay un cilindro en el que se produce la superdetonación debido al pre-encendido desencadenado
10 por el encendido automático del aceite del motor que entra en el cilindro, y si no existe tal cilindro, el proceso termina; y si existe tal cilindro, este cilindro se marca como un cilindro de superdetonación, y se realiza la etapa S3.

 En la etapa S3, se retarda un momento de una inyección de carburante final del cilindro de superdetonación hasta una carrera de compresión, y se
15 controla un momento de la inyección de carburante final, para permitir que se forme una mezcla aire-carburante combustible solamente antes del encendido de una bujía, es decir, para permitir que el ángulo del cigüeñal que forma la mezcla aire-carburante combustible cubra completamente la ventana de pre-encendido, para evitar que la mezcla aire-carburante combustible sea
20 encendida por el aceite del motor en el cilindro dentro de la ventana de pre-encendido.

 En la etapa S4, se determina si se inhibe la superdetonación; y si es así, el proceso termina; y si no, se realiza la etapa S5.

 En la etapa S5, el momento de la inyección de carburante final de cada
25 uno de los cilindros se retrasa hasta la carrera de compresión y se controla el

momento de la inyección de carburante final de cada uno de los cilindros, para permitir que la ventana de pre-encendido quede cubierta en un intervalo de ángulo del cigüeñal requerido para cada uno de los cilindros para formar la mezcla aire-carburante combustible; mientras tanto, se incrementa una cantidad de inyección de carburante en cada una de las múltiples inyecciones de carburante de cada uno de los cilindros, para permitir que una concentración de la mezcla aire-carburante formada por la inyección de carburante final corresponda a una velocidad de llama máxima para aumentar una energía de encendido y un tiempo de retardo requerido por el pre-encendido, es decir, permitir que la mezcla aire-carburante encendida se limpie sobre la zona no quemada a la velocidad de llama máxima, reduciendo de este modo adicionalmente una región donde la mezcla aire-carburante no quemada se enciende automáticamente antes de haber alcanzado la llama, e inhibiendo además la superdetonación controlando la combustión de la mezcla aire-carburante.

En la etapa S6, se determina si se inhibe la superdetonación; y si es así, el proceso termina; y si no, se realiza la etapa S7.

En la etapa S7, se realiza una limitación del par motor, para permitir que el motor funcione fuera de la región de superdetonaciones y se realiza un control de inyección de carburante normal de acuerdo con una estrategia de inyección de carburante en el caso de que no se desencadene ninguna superdetonación.

Además, en las etapas S4 y S6, si se inhibe la superdetonación, el motor puede seguir funcionando durante aproximadamente 500 ciclos de operación o durante 30 segundos bajo la estrategia de control de la etapa S3 o de la etapa

S5, para evitar eficazmente que la superdetonación ocurra otra vez, y después el control de la superdetonación se termina, para volver a un modo de control normal sin superdetonación, y todo el proceso de control se termina. La duración del control puede aumentarse o disminuirse según se desee, y no se
5 limita a los 30 segundos anteriores o a los 500 ciclos de operación.

De forma similar, después de la etapa S7, puede añadirse adicionalmente la etapa S8, en la que el motor puede seguir funcionando durante aproximadamente 500 ciclos de operación o durante 30 segundos bajo la estrategia de control de limitación del par motor en la etapa S7 y, a
10 continuación, la limitación del par motor se libera, para volver al modo de control normal, y después todo el proceso de control se termina. Es decir, en cada uno de los casos en los que se inhibe la superdetonación, el motor puede continuar operando durante 500 ciclos de operación o durante 30 segundos bajo la estrategia original, para evitar eficazmente que la superdetonación
15 vuelva a ocurrir, en concreto, el proceso se realiza de acuerdo con la etapa S8, pero el motor continúa funcionando en diferentes estrategias de control.

Por lo general, se pre-calibra la ventana de pre-encendido en un banco de pruebas de motor antes de la etapa S1. Cuando se calibra la ventana de pre-encendido, de acuerdo con las señales detectadas de los sensores de
20 detonación, la ventana de pre-encendido se calibra añadiendo una cierta tolerancia del ángulo del cigüeñal tanto antes como después de un intervalo del ángulo del cigüeñal correspondiente a una ocurrencia del pre-encendido, para permitir que las señales de vibración del motor detectadas por los sensores de detonación sean filtradas por el filtro, y solo se vigilan las señales de vibración
25 del motor dentro del intervalo de ventana y se controlan correspondientemente

de acuerdo con el resultado de detección. Por lo general, una detonación normal de un motor se produce con un ángulo del cigüeñal comprendido entre 10 grados y 50 grados después de un punto muerto superior de compresión, y el ángulo del cigüeñal es simplemente la denominada ventana de detonación (es decir, un ángulo del cigüeñal correspondiente a una ocurrencia de una detonación normal). Para controlar la detonación normal, el motor está generalmente provisto de sensores de detonación, para permitir que la unidad de control del motor (ECU) ajuste un ángulo de avance de encendido de acuerdo con el ángulo del cigüeñal en el que se produce la detonación, para controlar la detonación. La ventana de detonación solo necesita cubrir el intervalo del ángulo del cigüeñal correspondiente a la ocurrencia de la detonación, y no se puede definir para tener un intervalo demasiado grande; de lo contrario, se incrementará el tiempo que tarda la ECU para procesar los datos y la respuesta. De manera similar, teniendo en cuenta que el aceite de motor que entra en el cilindro puede encenderse automáticamente con un cierto ángulo del cigüeñal antes del punto muerto superior de compresión y desencadenar el pre-encendido, cambiando de este modo las vibraciones del motor, el intervalo del ángulo del cigüeñal correspondiente a la ocurrencia del pre-encendido puede definirse como la ventana de pre-encendido, para permitir que la ECU monitoree, por los sensores de detonación, la variación de la vibración del motor causada por el pre-encendido dentro de la ventana de pre-encendido, para controlar la superdetonación desencadenada por el pre-encendido. El sensor de detonación configurado para identificar el pre-encendido puede ser un sensor de detonación específico configurado y también puede ser un sensor de detonación convencional para controlar el

momento de encendido de una bujía. Cuando se utilizan sensores de detonación convencionales para controlar tanto la detonación normal como la superdetonación desencadenada por el pre-encendido, la ventana de pre-encendido y la ventana de detonación se deben calibrar por separado. La

5 ventana de pre-encendido en la presente memoria corresponde por lo general a un ángulo del cigüeñal comprendido entre 10 grados y 30 grados antes del punto muerto superior de compresión y la ventana de detonación se dispone por lo general dentro de un ángulo del cigüeñal comprendido entre 10 grados y 50 grados después del punto muerto superior de compresión.

10 Se puede apreciar que, en el caso de que la información relevante relativa a la ventana de pre-encendido y el intervalo de filtrado se almacenen en un almacenamiento interno de la unidad de control del motor ECU, la etapa S1 puede omitirse y la etapa S2 puede realizarse directamente. Mientras tanto, en la etapa S2, se puede preestablecer la relevancia entre el pre-encendido y la

15 superdetonación y, en este caso, se requiere simplemente identificar un cilindro en el que tiene lugar el pre-encendido y este cilindro se marca como un cilindro de superdetonación, y después se realiza la estrategia de control correspondiente.

Por supuesto, en el caso de que se omita la etapa S1, en la etapa S3, el

20 momento de la inyección de carburante final se puede controlar directamente, para permitir que el ángulo del cigüeñal que forma la mezcla aire-carburante combustible no esté por delante del ángulo del cigüeñal correspondiente al pre-encendido, es decir, la mezcla aire-carburante combustible se forma después del tiempo de pre-encendido posible, para evitar que la mezcla aire-carburante

25 se encienda por el aceite de motor. El ángulo del cigüeñal descrito

anteriormente que corresponde al pre-encendido varía cada vez que ocurre el pre-encendido, sin embargo, el último ángulo de pre-encendido y el ángulo de pre-encendido anterior deberían estar por lo general dentro del intervalo cubierto por el pre-encendido anterior puesto que la ECU debe determinar si la
5 combustión del motor es normal comparando las señales detectadas por los sensores de detonación con la información relevante precalibrada y almacenada en el almacenamiento interno.

En la etapa S3, cuando el momento de la inyección de carburante final se retrasa hasta la carrera de compresión, debido al efecto de enfriamiento de la
10 inyección de carburante final y a el momento necesaria para formar una mezcla aire-carburante combustible homogénea que se aproxima al punto muerto superior de compresión se debilita la condición para que la mezcla aire-carburante sea encendida previamente por el aceite de motor en el cilindro. Mediante el efecto de enfriamiento de la inyección de carburante en el proceso
15 de compresión y controlando el momento de formación de la mezcla de aire y carburante en la etapa posterior del proceso de compresión, se permite que el momento de pre-encendido esté próximo al punto muerto superior de compresión en la medida de lo posible, para reducir el daño al motor provocado por el pre-encendido e incluso permitir terminar el encendido de la bujía antes
20 de que el aceite del motor encienda la mezcla aire-carburante, para lograr una combustión normal, evitando así la superdetonación. Se ha demostrado por numerosos experimentos que, incluso si el aceite de motor pre-enciende la mezcla aire-carburante, el pre-encendido ocurrido en este caso solo puede mejorar la presión del cilindro en una medida limitada puesto que el tiempo de
25 pre-encendido se retrasa significativamente, y la superdetonación no se

activará.

También se puede apreciar que se pueden omitir todas las etapas S4 a S8, y en lugar de estas, el método en la etapa S3 puede emplearse para controlar el funcionamiento del motor durante varios ciclos de operación, si la
5 mayor parte del aceite de motor que desencadena el pre-encendido en el cilindro se ha eliminado cuando se produce la superdetonación, por último, la superdetonación puede también controlarse de manera efectiva. Por supuesto, en el caso de que la superdetonación sea fuerte, se añade la etapa S4 para realizar una determinación y la estrategia de control se cambia
10 correspondientemente de acuerdo con el resultado de la determinación y se realiza la estrategia de control de aumentar la concentración del carburante inyectado de acuerdo con la etapa S5, lo que puede mejorar la fiabilidad del control de detonación, para evitar rápida y eficazmente que la superdetonación se repita y reducir el daño al motor. De manera similar, la etapa S6 puede
15 añadirse adicionalmente para realizar una determinación después de la etapa S5 y en el caso de que ni el aumento de la concentración de inyección de carburante ni el retraso del momento de la inyección de carburante final puedan controlar eficazmente la detonación, un control de limitación del par motor se realiza de acuerdo con la etapa S7, permitiendo así que el motor salga de la
20 región de detonaciones de forma que tenga un efecto mínimo en la capacidad de conducción del vehículo para volver a un modo de control bajo el funcionamiento normal, para reducir la sensibilidad del conductor del vehículo a la estrategia de control de superdetonación del motor.

En la etapa S7, aunque se realiza la limitación del par motor, se puede
25 aumentar la velocidad del motor para permitir que el motor funcione a la misma

potencia, es decir, que el motor salga de una región de superdetonaciones para funcionar a la misma potencia de salida, para asegurar el funcionamiento normal del vehículo. Puesto que en el caso de que el motor funcione a una condición de carga alta y baja velocidad, cuando un par motor a baja velocidad se reduce hasta cierto grado, el motor ya no tendrá que aumentar el caudal del compresor del turbocompresor por barrido para satisfacer la presión de refuerzo requerida por el par a baja velocidad y el aceite de motor introducido en el cilindro por la recirculación del aire de ventilación del cárter no fluirá con el aire de barrido en cortocircuito a través del cilindro desde un orificio de admisión hasta un orificio de escape, para quedar retenido en la superficie de pared de la cámara de combustión para formar una posible fuente de pre-encendido. De este modo, la combustión en el cilindro se controla desde aspectos tales como la fuente de encendido y la condición de combustión, para permitir que el motor funcione fuera de la región de superdetonaciones.

Además, la reducción de potencia que puede causarse por la reducción del par motor puede compensarse aumentando la velocidad de giro, para permitir finalmente que el motor funcione fuera de la región de pre-encendido (es decir, fuera de la región de superdetonaciones) a lo largo una línea de equipamiento de acuerdo con un método de reducción del par motor y aumento de velocidad.

El método de funcionamiento fuera de la región de superdetonaciones a lo largo de la línea de equipamiento tiene un efecto mínimo sobre la estrategia de cambio de la transmisión, por lo que la estrategia de reducción del par motor tiene un efecto mínimo sobre el comportamiento de conducción de todo el vehículo. Con referencia adicional a las Figuras 2 a 4, el principio del método de acuerdo con la presente solicitud se puede describir con mayor detalle.

En la práctica, generalmente el sistema de suministro de carburante del motor solo inyecta carburante en el cilindro una vez en cada ciclo, y la inyección de carburante se termina en una carrera de admisión. Sin embargo, en una región de giro del motor en la que se produce la superdetonación, es decir, la velocidad de giro es inferior a 2500 rpm, puesto que la duración correspondiente a la carrera de admisión es larga, la inyección de carburante puede realizarse varias veces aumentando la presión de inyección de carburante y acortando la duración de cada una de una inyección continua de carburante. Los varios aquí se refieren a múltiples con números inciertos, y es generalmente tres o más de tres. La solución técnica se describe aquí tomando tres veces la inyección de carburante como un ejemplo. A menos que se especifique lo contrario, la mezcla aire-carburante descrita en la presente memoria se refiere a una mezcla aire-carburante combustible y es generalmente una mezcla aire-carburante homogénea.

Como se muestra en la Figura 2, cuando no se produce ninguna superdetonación, cada uno de los tres tiempos de inyección de carburante puede terminarse dentro de la carrera de admisión y las proporciones de las cantidades de inyección de carburante de las tres veces de inyección de carburante con respecto a la cantidad de inyección de carburante total se pueden controlar respectivamente para ser el 35 %, del 32 % al 40 % y del 25 % al 33 %; y los factores de exceso de aire de la mezcla aire-carburante en el cilindro son respectivamente 2,86; 1,33-1,5 y 1,0 después de que se realizan las tres veces de inyección de carburante. La limitación de la primera inyección de carburante es principalmente teniendo en cuenta que el pistón en ese momento acaba de dejar el punto muerto superior de admisión, la longitud de

penetración de la pulverización de carburante no debe ser demasiado larga, de lo contrario se puede generar una interferencia con el pistón. Para diferentes formas del pistón del motor y diferentes intensidades del flujo turbulento en el cilindro, el tiempo de inyección de carburante apropiado y la cantidad de inyección de carburante de la segunda inyección de carburante pueden determinarse finalmente mediante experimentos. Cuando la cantidad de inyección de carburante de la segunda inyección de carburante se fija en un 32 %, el factor de exceso de aire correspondiente es de 1,5, lo que es un límite inferior para el encendido de la mezcla aire-carburante, por lo que no se puede formar una llama estable. Es decir, solo después de que se haya terminado la tercera inyección de carburante, el factor de exceso de aire correspondiente puede alcanzar 1,0, para formar una mezcla aire-carburante combustible estequiométrica. Por lo tanto, en la presente solicitud, el tiempo de conformación de la mezcla aire-carburante se controla controlando la tercera inyección de carburante, para controlar adicionalmente la superdetonación.

Para mejorar la calidad de mezcla, en el caso de que el estado del sistema de suministro de carburante del motor lo permita, la cantidad de inyección de carburante de la segunda inyección de carburante debería aumentarse tanto como sea posible, por ejemplo, puede aumentarse hasta el 40 %, el factor de exceso de aire correspondiente es 1,33, y la cantidad de inyección de carburante de la tercera inyección de carburante puede bajarse hasta el 25 %, lo que facilita la vaporización y mezcla del carburante inyectado en la tercera vez, para formar una mezcla de aire-carburante relativamente homogénea.

La unidad de control electrónico del motor ECU puede analizar si las

vibraciones del motor dentro de la ventana de pre-encendido correspondiente a cada uno de los cilindros son normales de acuerdo con las señales recibidas de los sensores de detonación de los cilindros y determinar si se produce el pre-encendido comparando las señales recibidas con las señales de vibración
5 durante combustión normal del motor almacenado en el almacenamiento interno de la ECU.

Cuando la ECU identifica que tiene lugar el pre-encendido en una ventana de pre-encendido de un cilindro, este cilindro se marca como un cilindro en el que se produce una superdetonación y la tercera inyección de carburante de
10 este cilindro marcado se retrasa hasta la carrera de compresión y el momento de la tercera inyección de carburante se controla para permitir que el ángulo del cigüeñal para formar la mezcla aire-carburante estequiométrica cubra la ventana de pre-encendido, es decir, para permitir que el ángulo del cigüeñal requerido para formar la mezcla aire-carburante combustible para esté por
15 delante de la ventana de pre-encendido. Como se muestra en la Figura 2, una duración L1 desde el comienzo de la tercera inyección de carburante hasta el punto muerto superior de compresión es justamente la duración de vaporización y mezcla del carburante inyectado en la tercera vez y puede cubrir completamente la ventana de pre-encendido.

Debido al efecto de enfriamiento de la tercera inyección de carburante en la mezcla aire-carburante dentro del cilindro y al hecho de que el ángulo del cigüeñal para formar la mezcla aire-carburante combustible homogénea se
20 mueve al punto muerto superior de compresión, la posición de pre-encendido correspondiente se mueve hacia atrás y el retardo de encendido se prolonga
25 cuando la mezcla aire-carburante se enciende por el aceite del motor en el

cilindro, lo que permite terminar el encendido de la bujía antes de que el aceite del motor desencadene el pre-encendido de la mezcla aire-carburante, Es decir, lograr un encendido normal, para inhibir de ese modo la superdetonación.

5 Si no se puede inhibir eficazmente la superdetonación después de que se implementa la estrategia de retrasar la tercera inyección de carburante mostrada en la Figura 2, se puede aumentar la concentración de la mezcla aire-carburante para permitir que el factor de exceso de aire correspondiente a la mezcla aire-carburante formada sea un factor de exceso de aire
10 correspondiente a la velocidad de llama máxima, para aumentar así la energía de encendido requerida para encender la mezcla aire-carburante e incrementar la dificultad de pre-encendido.

Tal como se muestra en la Figura 4, la energía de encendido requerida por la mezcla aire-carburante estequiométrica es la mínima, es decir, en el
15 caso de que el factor de exceso de aire sea igual a 1, la mezcla aire-carburante es más fácil de encender; y cuando se aumenta la concentración de la mezcla aire-carburante, se incrementa la energía de encendido requerida y, mientras tanto, se incrementa la velocidad de llama formada. En la Figura 4, λ denota un factor de exceso de aire, una línea curva indicada por una línea continua
20 muestra la variación de la velocidad de llama y una línea curva indicada por una línea discontinua muestra la variación de la energía de encendido. Se puede observar que cuando λ es aproximadamente 0,78, la velocidad de llama alcanza el valor máximo, y en este caso, si la concentración continúa aumentando, la velocidad de llama se reducirá, y cuando λ es
25 aproximadamente 0,61, la concentración para el encendido de la mezcla aire-

carburante alcanza su límite inferior, y una llama estable no puede formarse a esta concentración. A medida que aumenta la energía de encendido requerida por la mezcla aire-carburante, se incrementa la dificultad para la energía liberada por la combustión espontánea del aceite de motor para encender la mezcla aire-carburante y, por lo tanto, la posibilidad de una ocurrencia de pre-encendido se reduce. Mientras tanto, incluso el pre-encendido se produce, la llama se despliega a una velocidad máxima, para permitir que la mezcla aire-carburante sea encendida por la llama en un grado máximo factible en lugar de encenderse automáticamente, por lo tanto, la superdetonación no se puede desencadenar. El principio anterior puede aplicarse a la estrategia de control de aumentar la concentración de la mezcla aire-carburante en la presente solicitud.

En detalle, como se muestra en la Figura 3, si la estrategia de control mostrada en la Figura 2 no puede inhibir eficazmente la superdetonación desencadenada por el pre-encendido, se puede aumentar la concentración de la mezcla aire-carburante para permitir que el factor de exceso de aire para formar la mezcla aire-carburante corresponda a la velocidad de llama máxima, es decir, el factor de exceso de aire se puede situar en la posición donde λ es igual a 0,78 mostrada en la Figura 4.

La mayor cantidad de inyección de carburante puede distribuirse uniformemente a los tres tiempos de inyección de carburante y puesto que la concentración de la mezcla aire-carburante del motor se controla por la ECU de acuerdo con la señal procedente de un sensor de oxígeno dispuesto delante de un convertidor del catalizador de tres vías, el incremento de la concentración necesita implementarse en cada cilindro simultáneamente, es decir, cuando la

ECU identifica que un cierto cilindro es un cilindro de superdetonación y la estrategia de control mostrada en la Figura 2 no es suficiente para eliminar la superdetonación, la tercera inyección de carburante de cada uno de los cilindros se retrasa hasta la carrera de compresión y, mientras tanto, se
5 implementa la estrategia de aumento de concentración y se controla el momento de la inyección de carburante de cada uno de los cilindros para permitir que el ángulo del cigüeñal para formar la mezcla aire-carburante cubra la ventana de pre-encendido.

Como se muestra en la Figura 3, las proporciones de las cantidades de
10 inyección de carburante de las tres inyecciones de carburante con respecto la cantidad de inyección de carburante total pueden ser respectivamente del 35 %, 40 % y 25 % y los factores de exceso de aire λ de la mezcla aire-carburante en el cilindro pueden ser respectivamente 2,23, 1,04 y 0,78 después de que se implementan las tres inyecciones de carburante. Una vez finalizada la segunda
15 inyección de carburante, la temperatura de la mezcla aire-carburante cuando λ es igual a 1,04 es mucho menor que un punto de encendido de la mezcla aire-carburante y la mezcla aire-carburante en este caso no se puede encender por ninguna fuente de encendido, es decir, la mezcla aire-carburante no se puede encender por el aceite del motor. Al mismo tiempo, puesto que la cantidad de
20 inyección de carburante aumenta, en comparación con la estrategia de inyección de carburante mostrada en la Figura 2, el momento de la tercera inyección de carburante se puede mover apropiadamente hacia delante, para asegurar que la tercera inyección de carburante tenga suficiente tiempo de evaporación y mezclado para formar una mezcla aire-carburante combustible
25 homogénea. Como se muestra en la Figura 3, la duración L2 desde el

comienzo de la tercera inyección de carburante hasta el punto muerto superior de compresión puede constituir el tiempo de evaporación y mezclado de la tercera inyección de carburante y la duración es larga y puede cubrir completamente la ventana de pre-encendido.

- 5 La estrategia de control de aumento de la concentración anterior y la estrategia de control de retraso del momento de la tercera inyección de carburante se combinan. En un aspecto, la tercera inyección de carburante se produce en la carrera de compresión y el calor latente de vaporización requerido por la evaporación del carburante de la tercera inyección de
- 10 carburante absorberá una gran cantidad de energía térmica de la mezcla aire-carburante para reducir la temperatura de la mezcla aire-carburante comprimido, para generar un efecto de enfriamiento en la mezcla aire-carburante e incrementar la dificultad de que el aceite de motor encienda la mezcla aire-carburante. En otro aspecto, la tercera inyección de carburante, al
- 15 enfriar la mezcla aire-carburante, enfría también las partículas de aceite del motor adheridas sobre la superficie de la pared de la cámara de combustión, para reducir la temperatura de las partículas de aceite del motor, mitigando así la condición de que las partículas de aceite del motor se enciendan automáticamente y cuando la temperatura de la superficie de las partículas de
- 20 aceite del motor es inferior al punto de encendido, las partículas de aceite del motor no pueden formar una fuente de encendido. Además, el aumento de la cantidad de inyección de carburante reduce la concentración de oxígeno en el cilindro, lo que da como resultado que el retardo de encendido de la mezcla aire-carburante se prolongue debido a la insuficiencia de oxígeno, e incluso si
- 25 se produce el pre-encendido, la región afectada por el pre-encendido es

pequeña, por lo que la combustión de la mezcla aire-carburante sigue controlándose principalmente por la bujía, y, por lo tanto, la superdetonación se puede inhibir.

Incluso si la estrategia de control de aumento de la concentración no
5 puede eliminar completamente el pre-encendido, puede debilitar la intensidad de detonación hasta un grado máximo, para reducir los daños al motor causados por la combustión anormal desencadenada por el pre-encendido.

Además, en el caso de que las estrategias de control anteriores no
puedan inhibir la superdetonación, para proteger el motor, la ECU puede
10 implementar una limitación de par motor al motor de manera que afecte al vehículo accionado en un grado mínimo, para permitir que el motor funcione fuera de la región de detonación. Para el vehículo equipado con una transmisión automática, la ECU puede controlar el motor para reducir el par motor a lo largo de la línea de equipamiento; y para el vehículo equipado con
15 una transmisión manual, la ECU puede controlar el motor para que funcione fuera de la región de superdetonaciones en una forma que afecte la actuación de conducción en un grado mínimo. En vista de que la ocurrencia de la superdetonación es estocástica y no persistente, las medidas de control para la superdetonación son generalmente un control de tiempo finito.

20 Se debe observar que, en principio, el procedimiento de control anterior puede implementarse añadiendo una nueva estrategia de control en la ECU sin aumentar un hardware adicional. Sin embargo, antes de aplicar el método de control, debe efectuarse la calibración necesaria en el motor y la ECU y el sistema de suministro de carburante del motor deben cumplir las condiciones
25 de control de los cilindros de forma independiente y realizar varias veces de

inyección de carburante y puede hacerse referencia a la descripción anterior. Sin embargo, ni un sistema de control ni un sistema de inyección de carburante de cualquier motor pueden cumplir las condiciones anteriores, y actualmente, solo el motor de Euro 5/Euro 6 estándar puede cumplir con las condiciones de aplicación para la aplicación de la estrategia de control anterior. Por lo tanto, para este tipo de motor, no se requieren nuevos dispositivos adicionales. No obstante, para el motor que no reúna las condiciones de aplicación anteriores, la ECU y el sistema de suministro de carburante del motor deben ampliarse para cumplir las condiciones de aplicación de las estrategias de control; de lo contrario, no se pueden realizar los múltiples tiempos de inyección de carburante ni el control independiente de la inyección de carburante en los cilindros.

La presente solicitud se ilustra tomando como ejemplo un tipo de motores y se puede hacer referencia a la Figura 5. Como se muestra en la Figura 5, en un motor de gasolina turboalimentado de inyección directa, el aire se hace pasar a través de un compresor 1 del turboalimentador, un intercooler 2, un acelerador electrónico 3 y luego entra en un colector de admisión 4 de un motor 6 y se distribuye a cada uno de los cilindros 8. De acuerdo con la estrategia de inyección de carburante para el motor 6, el carburante se inyecta en cada uno de los cilindros en la secuencia de encendido por un sistema de suministro de carburante Common Rail de alta presión 5 y un inyector de múltiples orificios 7. Los gases de escape se descargan de los cilindros 8 a través de un colector de escape 9, para fluir a una turbina de gas de escape 10 del turbocompresor, y se hace pasar después a través de la turbina de gas de escape 10 del turbocompresor y un sensor de oxígeno de escape 11, y después se limpia

mediante un convertidor de catalizador de tres vías 12 para ser descargado a un entorno externo. La potencia de salida de la turbina de gas de escape 10 del turbocompresor se utiliza para accionar el compresor 1 del turbocompresor, el sensor de oxígeno de escape 11 del motor delante del convertidor de catalizador de tres vías 12 ajusta la cantidad de inyección de carburante del inyector de carburante de acuerdo con la concentración de oxígeno en el gas de escape, para permitir que el convertidor de catalizador de tres vías 12 procese de manera más eficaz los contaminantes agotados por el motor 6.

El método de control detallado implementarse con referencia a la descripción anterior, que no se describirá aquí.