



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i4.2206>

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de investigación

El control y la gestión de la inyección electrónica de combustible para los motores de encendido provocado

Control and management of electronic fuel injection for provoked ignition engines

Controle e gerenciamento de injeção eletrônica de combustível para motores de ignição provocada

Jairo Edison Guasumba-Maila^I
laalarconb@sangregorio.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0533-0397>

Henry Fernando Galeano-Vergara^{III}
3henry171658@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1711-9185>

Diego David Oramas-Proaño^{II}
doramas@tecnocuatoriano.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-4103-6571>

Enrique Vinicio Vergara-Hidalgo^{IV}
vini-kyke1234@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-4057-2065>

Correspondencia: laalarconb@sangregorio.edu.ec

***Recibido:** 25 de julio de 2021 ***Aceptado:** 19 de agosto de 2021 * **Publicado:** 15 de agosto de 2021

- I. Magister en Diseño Mecánico, Docente Investigador. Coordinador de Carrera de Mecánica Y Electromecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Ecuador.
- II. Analista en Sistemas, Licenciado en Ciencias de la Educación Especialidad Inglés. Magister en Gerencia Educativa. Docente Investigador, Director Prácticas Pre Profesionales, Director del Área de Inglés, Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Ecuador.
- III. Participante Investigador, Estudiante Tecnología Superior en Electromecánica Automotriz, Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Ecuador.
- IV. Participante Investigador, Estudiante Tecnología Superior en Electromecánica Automotriz. Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Ecuador.

El control y la gestión de la inyección electrónica de combustible para los motores de encendido provocado

Resumen

La tendencia actual es utilizar los motores de gasolina modernos utilizan cada vez más tecnologías variables para optimizar el intercambio de gases, la preparación de la mezcla, el encendido y la combustión para diversas condiciones de funcionamiento. El objetivo de este trabajo fue caracterizar las características del control y la gestión de la inyección electrónica de combustible en los contextos de aplicación de software diferentes parámetros objetivos en torno al motor y la eficiencia del vehículo. Esto en miras de varios beneficios como el ahorro de combustible a nivel del sistema, el control óptimo de sensores y actuadores que cubren todo el rango de carga del motor. En conclusión, los sistemas de gestión requieren una serie de estrategias y nuevas aplicaciones tanto electrónicas como físicas para reducir el tiempo total de verificación con pruebas de alta calidad y de respuesta con miras de aportar a las nuevas tecnologías como vehículos híbridos, y autónomos que van en crecimiento en el mercado

Palabras clave: Automotriz; motor; inyección de combustible; sensor; control del motor.

Abstract

The current trend is to use modern gasoline engines increasingly using variable technologies to optimize gas exchange, mixture preparation, ignition and combustion for various operating conditions. The objective of this work was to characterize the characteristics of the control and management of electronic fuel injection in the contexts of software application of different objective parameters around the engine and vehicle efficiency. This in view of various benefits such as fuel economy at the system level, optimal control of sensors and actuators that cover the entire load range of the engine. In conclusion, management systems require a series of strategies and new electronic and physical applications to reduce the total verification time with high-quality and responsive tests in order to contribute to new technologies such as hybrid vehicles, and autonomous vehicles that go growing in the market

Keywords: Automotive; engine; fuel injection; sensor; engine control.

Resumo

A tendência atual é usar motores modernos a gasolina cada vez mais com tecnologias variáveis para otimizar a troca gasosa, preparação da mistura, ignição e combustão para várias condições de

El control y la gestión de la inyección electrónica de combustible para los motores de encendido provocado

operação. O objetivo deste trabalho foi caracterizar as características do controle e gerenciamento da injeção eletrônica de combustível nos contextos de aplicação de software de diferentes parâmetros objetivos em torno da eficiência do motor e do veículo. Isso em vista de vários benefícios, como economia de combustível no nível do sistema, controle ideal de sensores e atuadores que cobrem toda a faixa de carga do motor. Concluindo, os sistemas de gestão requerem uma série de estratégias e novas aplicações eletrônicas e físicas para reduzir o tempo total de verificação com testes de alta qualidade e resposta a fim de contribuir com novas tecnologias como veículos híbridos e autônomos que vão crescendo no mercado.

Palavras-chave: Automotivo; motor; Injeção de combustível; sensor; controle do motor.

Introducción

Las emisiones de contaminantes de los vehículos son generalmente bajas, pero el número de vehículos aumenta en la carretera y, por lo tanto, la contaminación ambiental también aumenta. Aproximadamente el 35% del CO, el 30% de los HC y el 25% del NOx producido en la atmósfera proviene del sector del transporte. Estos contaminantes tienen efectos adversos sobre el medio ambiente y la salud humana (Dey & Mehta, 2020). Un motor de gasolina con un sistema de inyección de combustible controlado electrónicamente tiene una economía de combustible sustancialmente mejor y menos emisiones gracias a la influencia de la sincronización de la inyección de combustible, la sincronización de la chispa, el ángulo de permanencia y la relación aire-combustible en la estabilidad del motor en ralentí (Han & Chung, 1998).

La necesidad de mejorar el consumo de combustible ahorrando el peso de las piezas de automóviles está creciendo desde el punto de vista de la mitigación del calentamiento global (Tanaka et al., 2011). La estrategia de control fundamental para la medición de combustible no ha cambiado, aunque los cambios tecnológicos han mejorado el rendimiento y la confiabilidad del motor controlado electrónicamente. Algunas de las técnicas mejoradas incluyen el control de detonación, control de velocidad de ralentí de solenoide lineal, inyección secuencial de combustible, encendido sin distribuidor, autodiagnóstico para operación a prueba de fallas, microprocesador de respaldo (MPU) y vehículos híbridos (Future Automotive Electronic Systems, 2003).

Los sistemas OBD deben poder reconocer y registrar las indicaciones erróneas de los sistemas asociados con la emisión de componentes tóxicos de los gases de escape. El sistema OBD debe

El control y la gestión de la inyección electrónica de combustible para los motores de encendido provocado

registrar y almacenar la existencia de daños en forma de códigos de error. Los requisitos básicos del OBD incluyen: evaluación del rendimiento del catalizador mediante la examinación del contenido de hidrocarburos en los gases de escape; supervisión del sistema de eliminación de gases de fluidos consumibles, control del sistema de alimentación de combustible y sistema de recirculación de los gases de escape identificación y ubicación de la ausencia de combustión. La combustión de mezclas débiles y en capas aumenta definitivamente la tendencia del motor a la aparición de ciclos sin combustión (Guasumba et al., 2021; Sanseverino y Cascio, 1997)

El software de control atiende a un diseño de controlador discreto, esto significa que todas las variables internas son recalculadas con una frecuencia y es esa misma frecuencia con la que las funciones intercambian la información (Payri y Desantes, 2011). La ECU es la encargada de la sincronización del encendido, la sincronización de la inyección de combustible y la duración de la inyección son los principales parámetros de control del motor para lograr un rango eficiente de economía de combustible, potencia de salida y emisiones reducidas de un escape del motor (Shivakumar et al., 2020), en este trabajo se analiza la lógica de trabajo de varias de estas funciones en la estrategia de control de la inyección electrónica de combustible de forma profunda y mirar las opciones de optimización en futuros trabajos.

Características del sistema de gestión del aire

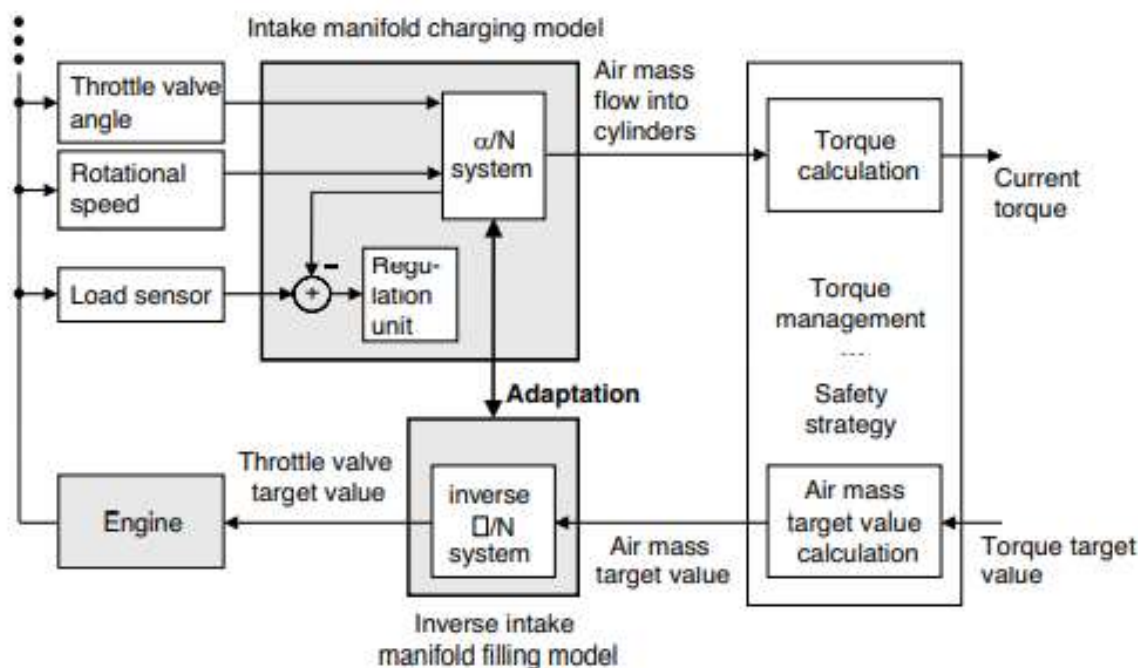
Un cuerpo de mariposa para controlar el volumen de flujo de aire en un motor es importante lograr una alta precisión dimensional del hueco de la válvula en el estado de válvula cerrada. Los cuerpos de mariposa de resina tienen dos posibles desventajas que deben resolverse antes de la producción. El primero es una mayor fuga de aire en el estado de válvula cerrada y el segundo es una menor conducción de calor para descongelar la válvula en un clima gélido. La primera desventaja de una mayor fuga se ha resuelto mediante el uso de la primera tecnología de moldeo del mundo que permite el moldeo simultáneo de la válvula y el orificio con el mismo material de resina en el mismo conjunto de troquel de moldeo en las mismas condiciones de moldeo para mejorar la precisión dimensional de espacio entre el orificio de la válvula. Además de eso, la forma de la válvula se ha diseñado para aumentar la resistencia al flujo de aire en el espacio del orificio de la válvula. La segunda desventaja de una conducción de calor más pequeña se ha compensado mediante el uso de una estructura de

El control y la gestión de la inyección electrónica de combustible para los motores de encendido provocado

doble orificio para atrapar las gotas de agua arrastradas en el flujo de aire hacia la válvula (Tanaka et al., 2011)

En un sistema de gestión del motor guiado por par, el punto de ajuste de la válvula de mariposa electrónica resulta del par previsto en un modelo de carga del colector de admisión inverso, se muestra en la figura 1. La posición objetivo de la válvula de mariposa se calcula a partir del comando de par mediante varios pasos, y se establece mediante el controlador de posición de la válvula de mariposa. El objetivo del control de la válvula del acelerador es hacer coincidir con precisión el aire real con la masa de aire deseada del modelo de torque. En la entrada del modelo de carga del colector de admisión, la masa de aire que fluye hacia el motor resulta de la posición de la válvula de mariposa y la velocidad, esta relación debe ser exactamente invertible para que la posición objetivo de la válvula de mariposa se pueda calcular.

Figura 1: Ruta inversa de carga del colector de admisión



La señal de entrada para el controlador de posición es la diferencia entre las posiciones real y deseada de la válvula. Dependiendo de esta desviación, un algoritmo de control calcula una señal de control de la señal de modulación de ancho de pulso que influye en el servomotor de la válvula para que la

El control y la gestión de la inyección electrónica de combustible para los motores de encendido provocado

posición real de la válvula de mariposa se mueva a la posición deseada (Van Basshuysen & Schäfer, 2016).

Características del sistema de gestión de la inyección

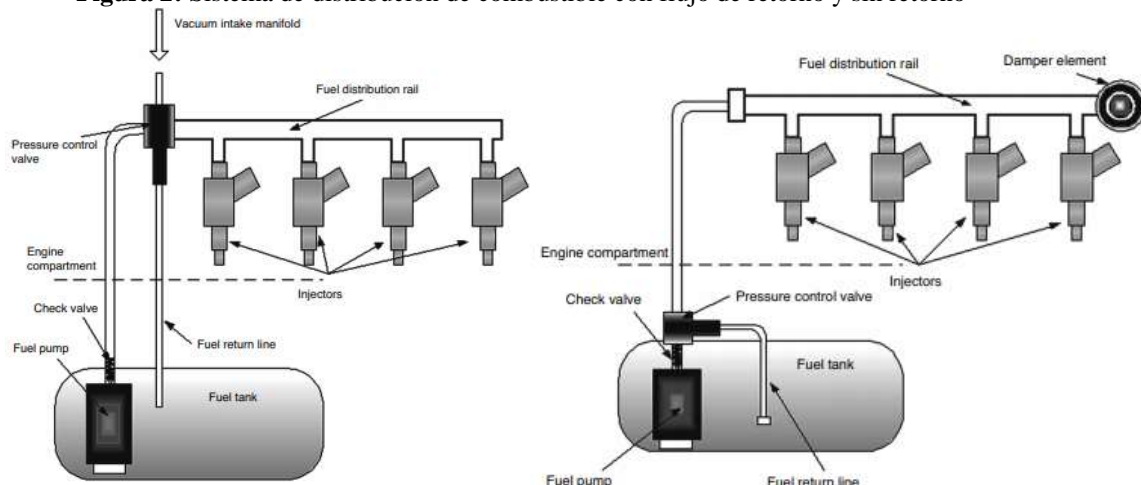
Las demandas de bajas emisiones vehiculares y menor consumo de combustible, mediante el cual el combustible se inyecta por vía electrónica. Los inyectores de combustible controlados para cilindros individuales en los brazos de admisión de los motores de gasolina son las principales influencias en el diseño de los sistemas de inyección de colectores de admisión modernos. Las medidas para reducir las emisiones más allá de las funciones básicas de los sistemas de control del motor —inyección y encendido— se basan principalmente en los estándares de emisiones requeridos, las emisiones no tratadas del motor de combustión y la clase de peso del vehículo en la prueba de smog. Estas medidas, así como su diagnóstico, aumentan la complejidad de los sistemas de control del motor en forma de sensores, actuadores, cableado y programación informática (Van Basshuysen & Schäfer, 2016).

En principio, se diferencian dos diseños básicos de sistemas de combustible:

1. Sistema de combustible con un sistema de flujo de retorno (Figura 2): Una característica de este sistema de combustible es que el regulador de presión está directamente en el riel de distribución de combustible. El diafragma de presión recibe la presión del colector de admisión en un lado, de modo que existe una presión diferencial constante entre el combustible en el riel de combustible y el colector de admisión. Dado un tiempo de control constante del inyector de combustible, esto hace que la cantidad de combustible inyectado sea independiente de la presión del colector de admisión.
2. Se desarrollaron sistemas de combustible sin retorno, figura 2. Se caracterizan por la integración de la bomba de combustible y la válvula de control de presión en el tanque, o cerca del tanque. La ventaja de este diseño es que el exceso de combustible no tiene que bombearse primero al compartimiento del motor y luego fluye a través del regulador de presión de regreso al tanque. Los tiempos de inyección se corrigen correspondientemente por el sistema de control del motor en función de la presión constante del combustible de aproximadamente 350 kPa (3,5 bar \pm 0,5 bar).

El control y la gestión de la inyección electrónica de combustible para los motores de encendido provocado

Figura 2: Sistema de distribución de combustible con flujo de retorno y sin retorno



El sistema de inyección directa, el combustible se inyecta directamente en la cámara de combustión desde un raíl central de distribución de combustible a alta presión mediante inyectores de combustible controlados electrónicamente. Además, la inyección directa enfría el interior del cilindro de la evaporación del combustible, lo que luego reduce los golpes a plena carga. Por tanto, esto permite aumentar la compresión en aproximadamente una unidad. Esto, además, crea un menor consumo específico de combustible (Van Basshuysen & Schäfer, 2016).

Características del control de la inyección

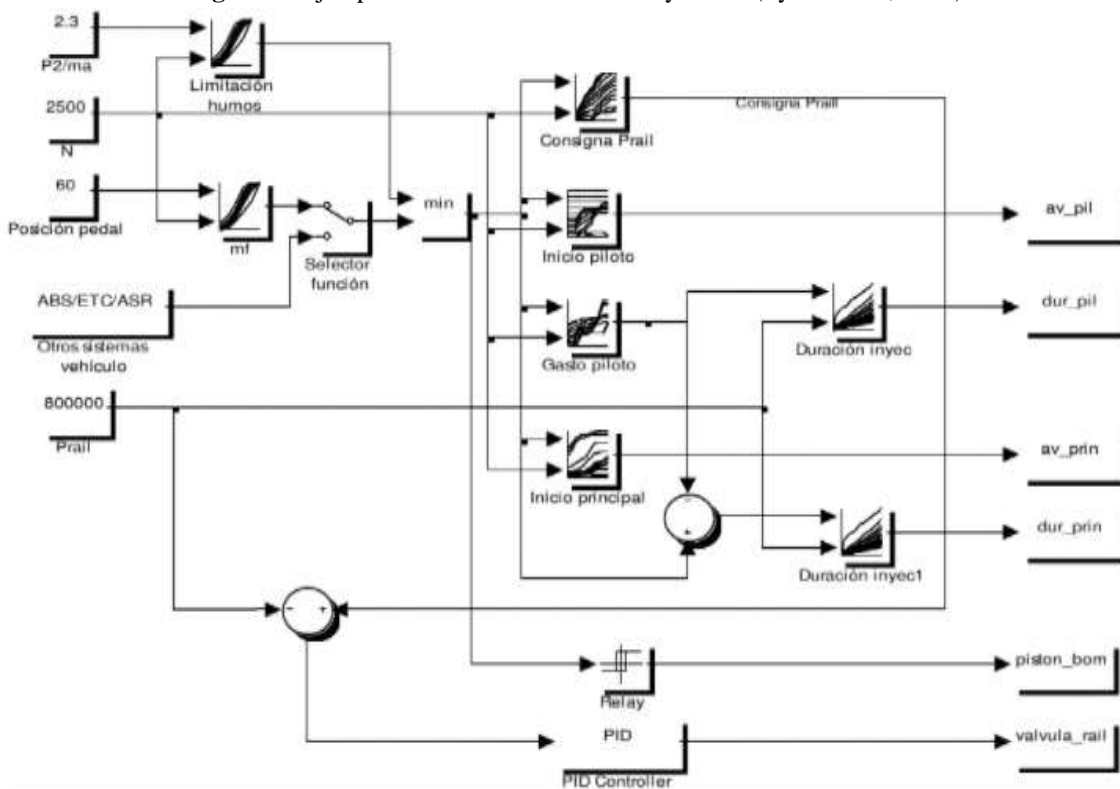
Los datos almacenados en la memoria de la unidad de control del motor se pueden ajustar y modificado para cambiar algunas características del vehículo. Estos incluyen la potencia del motor y par en función de la velocidad del motor y el consumo de combustible. Los resultados muestran las posibilidades de mejora de las características dinámicas del vehículo sin tener impacto en el consumo de combustible.

Para comunicarse entre la computadora portátil con el software necesario para el ajuste de datos y la ECU, se utilizó la interfaz de diagnóstico a bordo (OBD). Los sistemas OBD dan acceso al estado de los distintos subsistemas del vehículo. El vehículo utilizado para la medición y el ajuste ha incluido una unidad EDC 16 con memoria EEPROM. Se realiza una copia de seguridad de los datos descargados y se utilizan en caso de que el vehículo no tenga las características operativas requeridas después del ajuste de datos, o si no existe la posibilidad de cargar nuevos datos ajustados. Luego, los datos fueron optimizados y ajustados. Durante el ajuste, es posible ver parámetros particulares en

El control y la gestión de la inyección electrónica de combustible para los motores de encendido provocado

forma de gráficos 3D como se aprecia en la Figura 3 (Isermann, 2014). Después del ajuste de los datos, estos se cargaron nuevamente en la ECU a través de la interfaz OBD (Eriksson, 2007)

Figura 3: Ejemplo básico de control de la inyección (Synák et al., 2021).



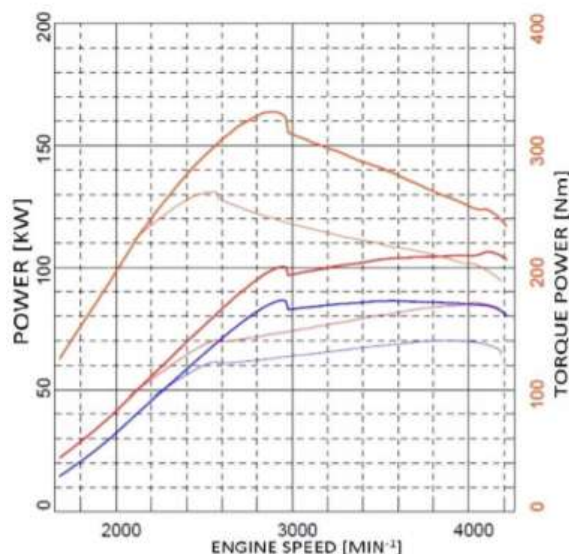
Como se muestra en la Figura 4, el par motor máximo ha aumentado de 262 Nm a 324 Nm después del ajuste de datos. En un 23% incrementa. El motor puede tener el par máximo cuando tiene su velocidad de 2850 [1 / min]. Al comparar el par motor máximo a la velocidad de 2550 [1 / min], antes del ajuste de datos, la elasticidad del par motor tiene aumentado y esto tiene un impacto positivo cuando se conduce cuesta arriba con un vehículo cargado (Synák y Rievaj, 2017). Junto con el par, la potencia del motor también aumenta. La potencia máxima del motor antes del ajuste de datos era 86 kW y después de los datos ajuste fue 107 kW. Teniendo en cuenta el régimen del motor al que el motor alcanza su potencia máxima, las diferencias en alcanzar la potencia máxima del motor no son considerables (Synák et al., 2021).

El ajuste de los datos de la ECU ha provocado un aumento de la potencia y el par máximos del motor. De estos, ambas curvas de la velocidad del motor de aproximadamente 2200 [1 / min] también ha

El control y la gestión de la inyección electrónica de combustible para los motores de encendido provocado

aumentado. Los ajustes de datos en la ECU también han provocado cambios en el consumo de combustible. Durante las mediciones, el consumo de combustible se ha reducido en la mayoría. Por lo tanto, la eficiencia de combustión se está incrementando (Skrúcaný et al., 2019).

Figura 4: Par y potencia modificados (Skrúcaný et al., 2019).



Los sistemas de gestión de motores requieren una serie de estrategias para reducir el tiempo total de verificación con pruebas de alta calidad. El análisis y la decodificación de datos, especialmente para productos altamente críticos y complejos, como la salida de suministro de combustible del motor de inyección directa de gasolina (GDi), la bomba de combustible de alta presión (HPFP), la salida de control de chispa y diferentes variedades de señales de posición del motor, requieren mucho tiempo. VECM puede resolver dos problemas muy complejos presentes en la verificación y prueba del controlador del tren motriz. Primero, análisis y decodificación de datos para una única señal de salida compleja. En segundo lugar, el análisis y la decodificación de todas las señales de salida complejas sincronizadas con el motor o sincronizadas con la tarea con múltiples dependencias (Bhadani, 2015).

Características del control de los sensores y actuadores de inyección

El acelerador de un automóvil, como válvula controlada para controlar el aire en el motor, se llama garganta del motor, y la precisión del acelerador se puede lograr mediante el uso de un dispositivo electrónico. Así, el algoritmo de control del modo deslizante era superior al algoritmo PID en el

El control y la gestión de la inyección electrónica de combustible para los motores de encendido provocado

control del acelerador electrónico. El tiempo de respuesta y el tiempo de estabilidad del algoritmo de control del modo deslizante fueron estables y más cortos que los del algoritmo PID sin importar la apertura que fuera. El tiempo de respuesta y el tiempo de estabilidad del algoritmo de control del modo deslizante en este estudio fueron 0,1 s y 0,4 s respectivamente (Zhang, 2019).

La tecnología de inyectores de combustible controlados electrónicamente es la mejor opción. Comercialmente, existen varios tipos de inyectores de combustible que se utilizan principalmente para combustibles específicos como gasolina, diésel, GNC, GLP, etc. El diseño de un inyector multicomcombustible que será compatible con ambos combustibles gaseosos y líquidos como un tremendo volumen de investigación se ha realizado en el uso de combustibles alternativos como hidrógeno, JP-8, biogás, gas productor, acetileno, alcohol y biodiesel. La presión de trabajo es de 5 bar, el inyector diseñado se probó solo para combustibles de baja viscosidad. El inyector trabajó en el rango de velocidad de 70 a 100 m / s. El uso del control de la bobina de solenoide permitió que el inyector funcionara con una respuesta rápida, la cantidad de combustible inyectado y el inicio de la inyección para varios combustibles (Deepak & Lakshmanan, 2020). Así mismo, la técnica para permitir que un componente del motor, el inyector de combustible realice múltiples tareas de detección además de su tarea principal de entregar el combustible al cilindro. El inyector está instrumentado dentro de un circuito eléctrico para producir una señal indicativa de algunos parámetros de inyección y combustión en motores de inyección directa de encendido por chispa controlados electrónicamente (SIDI). La salida del sistema de inyector de combustible de detección múltiple (MSFI) se puede utilizar como una señal de retroalimentación a la unidad de control del motor (ECU) para el control de la sincronización de la inyección y el diagnóstico de los procesos de inyección y combustión (Estefanous et al., 2013)

Las mediciones de la posición de referencia del cigüeñal para la sincronización del encendido (motores de gasolina) o la sincronización del inyector (para motores diésel controlados electrónicamente); y medidas de aceleración y velocidad angular del cigüeñal para estimar el par instantáneo indicado y para diagnosticar averías del motor. La estimación de par es potencialmente útil para el control del motor, para mejorar el rendimiento del motor con respecto a la reducción de la falta de uniformidad de ciclo a ciclo y de cilindro a cilindro y con respecto al ahorro de combustible. La medición de la velocidad angular del cigüeñal también proporciona una entrada a un método de

El control y la gestión de la inyección electrónica de combustible para los motores de encendido provocado

diagnóstico computacionalmente eficiente para detectar fallas en cualquier sensor o actuador (Rizzoni & Ribbens, 1989).

La tubería de succión con carburador y con inyector de combustible controlado electrónicamente (EFI), que se ubica frente a la válvula de succión, para despejar experimentalmente la influencia de varios factores, como el metanol-gasolina. relación (M / F), la diferencia en el sistema de alimentación de combustible, el número de veces de inyección, la sincronización de la inyección, la velocidad del motor, la eficiencia volumétrica, la pared de la tubería de succión temperatura, el contenido de agua en el combustible, etc., sobre el rendimiento del motor (la potencia y la eficiencia térmica), las características de escape (concentraciones de NO_x, CO, UBF y HCHO) y la variación de la combustión, así como la obtención de un directriz para establecer la condición óptima (Hayashi et al., 1991)

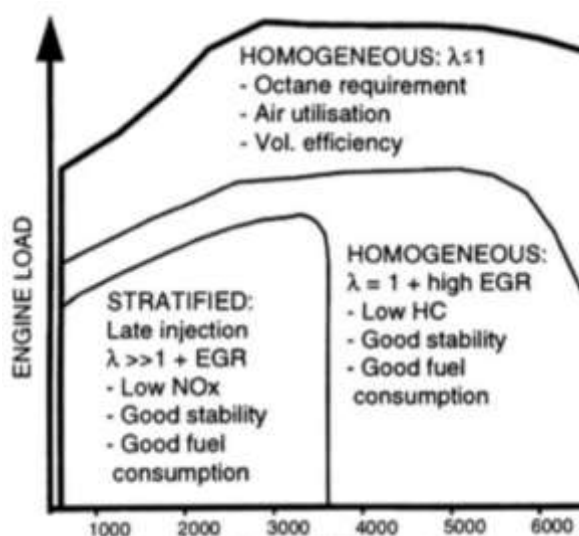
El motor del sistema de inyección electrónica de combustible (EFI) adopta un sensor de consumo de combustible EFI especial para probar el consumo de combustible del automóvil, o utiliza dos conjuntos de sensores de flujo ordinarios. Su principio de prueba es aproximadamente el mismo: todos concatenan los sensores de flujo de aceite del motor a la línea de combustible del motor, son operaciones complicadas y el retraso de la señal del sensor es mayor. La velocidad del motor tiene un impacto importante en los parámetros de las características del inyector e influirá en la precisión de las pruebas de consumo de combustible del automóvil (Fu & Hu, 2014).

La formación de la mezcla de aire y combustible juega un papel importante en el control de las emisiones de escape y la eficiencia del motor. El propósito principal del sistema de inyección de combustible es proporcionar al motor la relación aire-combustible correcta de acuerdo con las condiciones de funcionamiento del motor. Aunque la tecnología actual de inyección de combustible en el puerto está muy evolucionada, es difícil lograr normas de emisión más estrictas y una demanda de menor economía de combustible. El sistema de inyección directa de gasolina (GDI) es una tecnología de próxima generación prometedora para el motor de automóvil para mejorar la economía de combustible, el rendimiento y el control de emisiones a través de las estrategias de la figura 5. Los motores GDI se caracterizan por inyectar combustible directamente en la cámara de combustión a alta presión durante la carrera de compresión. La formación de la mezcla de aire y combustible tiene lugar dentro de la cámara de combustión como en un motor diésel. El motor GDI ofrece un potencial significativo para mejorar la economía de combustible y la reducción de las emisiones de escape de

El control y la gestión de la inyección electrónica de combustible para los motores de encendido provocado

los motores de encendido por chispa, al tiempo que mantiene o mejora la alta potencia específica de los motores PFI actuales. Los motores GDI tienen varias ventajas potenciales sobre el sistema PFI, sin embargo, tiene una serie de problemas inherentes que deben abordarse. Estas limitaciones son el control de la combustión de carga estratificada en un amplio rango de funcionamiento del motor, la complejidad de la estrategia de inyección para cambios continuos de carga, depósitos de inyectores, aumento de las emisiones de partículas, etc., (Tripathy et al., 2017).

Figura 5: Sistema del motor GDI (Tripathy et al., 2017).



Los beneficios de la inyección directa en el motor de gasolina en términos de consumo de combustible y emisiones. Se revisa en detalle el efecto del modo estratificado y homogéneo sobre el parámetro de rendimiento junto con el sistema de combustión (guiado por pared / guiado por pulverización y guiado por aire), su viabilidad y complejidad en el modo de operación individual y combinado. La necesidad de optimizar la formación de la mezcla para reducir el mojado de la pared dentro del cilindro, aumentar la estabilidad de la combustión y extender hasta que se produce el enfriamiento de la carga y la viabilidad del funcionamiento en modo estratificado en el motor GDI (Chincholkar & Suryawanshi, 2016).

Una función compleja en el sistema de gestión del motor controla este proceso. Los convertidores catalíticos de almacenamiento tienden a experimentar "envenenamiento por azufre" y, por lo tanto, dependen de combustibles con bajo contenido de azufre. Las medidas de postratamiento de los gases de escape reducen el ahorro en el consumo efectivo de combustible que resulta de la inyección directa.

El control y la gestión de la inyección electrónica de combustible para los motores de encendido provocado

En la era actual, las emisiones de escape de los vehículos de gasolina se han convertido en una de las principales fuentes de contaminación del aire urbano. Se evaluó de forma exhaustiva el impacto medioambiental de las tecnologías energéticas avanzadas y los combustibles alcohólicos. Los resultados muestran que el factor de emisión de PM de los vehículos GDI fue de 1,2 a 5 veces mayor que el de los vehículos de inyección de combustible en puerto (PFI). Después de la adición del filtro de partículas de gasolina (GPF), la emisión de PM disminuyó significativamente y el GPF catalítico redujo las emisiones de NOx y THC. En comparación con la gasolina, las emisiones de PM del alcohol combustible disminuyeron entre un 35% y un 56% y el factor de emisión de NOx fue similar al de la gasolina. En comparación con la gasolina, el THC de las emisiones de escape se redujo entre un 10% y un 44%, pero los compuestos orgánicos volátiles (COV) de las emisiones evaporativas aumentaron entre un 20% y un 41% principalmente debido a la pérdida de respiración diurna (Lü et al., 2021).

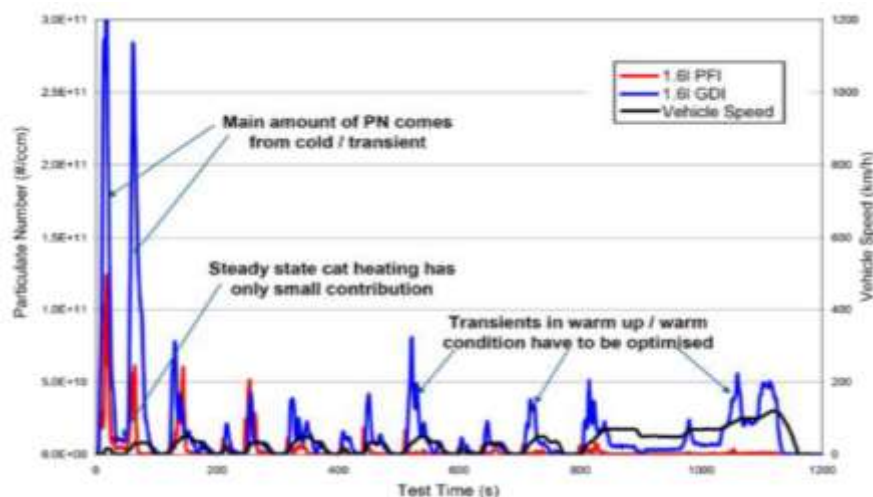
Por otro lado, las emisiones de partículas para motores de gasolina se analizaron bajo el ciclo de referencia (30 ° C y WLTC de arranque en frío), se identifica una fuerte correlación entre las emisiones sólidas de PN y BC para los vehículos GDI y MPFI, aunque los vehículos GDI sin filtros de partículas tienen emisiones significativamente más altas de PN y BC sólidos que aquellos de vehículos MPFI. Además, la variación de las condiciones de prueba al incluir arranque en frío, baja temperatura, conducción agresiva y uso de aire acondicionado aumenta las emisiones de PN y BC sólidos. Estos factores que afectan plantean cambios más significativos en las emisiones de partículas de los vehículos MPFI que los vehículos GDI. lo que sugiere una seria necesidad de adoptar filtros de partículas de gasolina (GPF) tanto para vehículos GDI como MPFI (He et al., 2018). Además, la inyección directa de gasolina (GDI), que es una de las tecnologías de inyección de combustible más utilizadas en los motores de combustión interna, es una alternativa viable para la tecnología de inyección de combustible en puertos en vehículos de gasolina premium (gasolina); además, proporciona una mejor economía de combustible, una mayor eficiencia térmica y una mayor potencia de salida. Sin embargo, las emisiones de partículas expulsadas de los motores GDI modernos son un peligro para el medio ambiente y la salud. Las preocupaciones sobre las emisiones de PM de los motores GDI son conceptualmente similares a las de las emisiones de los motores diésel como se aprecia en la figura 4X (Awad et al., 2020). Por último, los motores de inyección directa de gasolina (GDI) son actualmente los sistemas de propulsión dominantes para los turismos. Enfocándose en las

El control y la gestión de la inyección electrónica de combustible para los motores de encendido provocado

configuraciones del sistema de combustión, y también destaca problemas comunes en I + D de GDI, incluyendo pre-ignición y deto-detonación, formación de hollín y emisiones de PM, depósitos de inyectores y encendido por compresión de gasolina (GCI) (Shuai et al., 2018).

Las cada vez más estrictas normas sobre emisiones de vehículos hace que se analice la vida ideal de la gota de combustible, comenzando desde la inyección y finalizando después de la reacción de combustión. Además se trató la ruptura de la pulverización, el primer y crucial proceso que ocurre cuando el combustible se inyecta dentro de la cámara de combustión (Duronio et al., 2020).

Figura 6: Medición de las emisiones de euro 5 PFI y GDI PN durante el ciclo NEDC (Awad et al., 2020).



Características del sistema de gestión del encendido

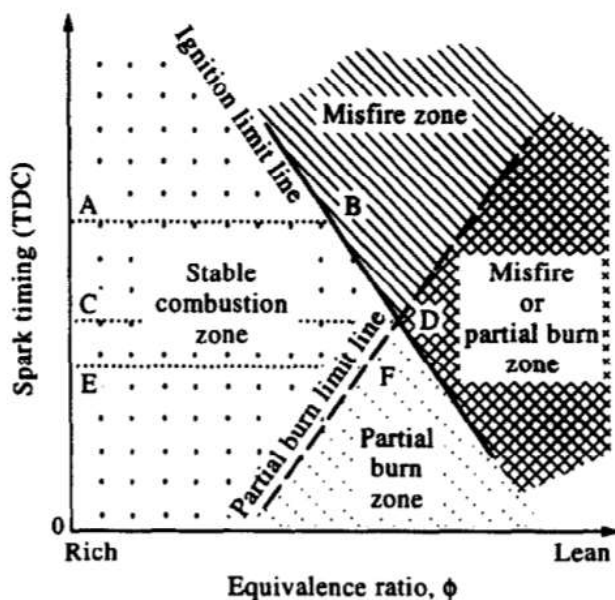
Para lograr un rango eficiente de economía de combustible, potencia de salida y concentración controlada de emisiones que salen del escape de un motor, el control de la sincronización del encendido y la sincronización de la inyección de combustible son muy importantes. La parte de hardware electrónico incluye controlador / Arduino con control de encendido y se utilizaron controladores de inyección de combustible para controlar tanto el tiempo de encendido como los tiempos de inyección de combustible. Para controlar estos tiempos, se midió la posición del pistón con respecto al TDC con la ayuda de sensores de posición del cigüeñal y de la leva (Shivakumar et al., 2020).

Asegurar la ignición de tales mezclas en todo el rango de operación del motor es un desafío, debido a la menor reactividad de la mezcla y la mayor discrepancia de estequiometría. Se introducen los principios de funcionamiento de los tipos primarios de sistemas de encendido avanzados; y se revisan

El control y la gestión de la inyección electrónica de combustible para los motores de encendido provocado

los resultados de las pruebas de motores y recipientes de combustión pertinentes. Los sistemas de encendido se clasifican en: (1) encendido por chispa de alta energía, (2) encendido por descarga pulsada de nanosegundos, (3) encendido por plasma por radiofrecuencia, (4) encendido por plasma inducido por láser y (5) encendido por precámara. Se comentan los sistemas de encendido avanzados, con respecto a la efectividad del encendido y los desafíos de implementación (Yu & Zheng, 2021). Los motores de encendido por chispa dependen fundamentalmente del encendido repetible y confiable para producir un buen rendimiento y bajas emisiones contaminantes. Para los motores estequiométricos de gasolina y aire, los actuales sistemas de descarga de chispa de bobina conmutada por transistor proporcionan una energía de encendido adecuada y son muy fiables. Sin embargo, los motores de combustión pobre son deseables por su mejor economía de combustible. La nueva tecnología de convertidores catalíticos puede permitir el desarrollo de motores de combustión pobre y alta relación de compresión que cumplen con estrictos estándares de emisiones al tiempo que proporcionan una mejor economía de combustible. Sin embargo, los motores de mezcla pobre ($\phi < 0,7$) generalmente requieren una energía de encendido mucho mayor para asegurar un encendido confiable. En la figura 7 se mira zonas de funcionamiento estable e inestable en mezclas pobres donde se trabaja para un encendido eficiente (Dale et al., 1997)

Figura 7: Zonas de funcionamiento estable e inestable en mezclas pobres (Dale et al., 1997)



Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo con estrictas normas de emisión de contaminantes, además del agotamiento de los combustibles fósiles requiere un sistema de control de inyección de combustible que sea eficiente, receptivo y adaptable a varias innovaciones tecnológicas desde la misma electrónica propia de los sensores hasta el incremento de actuadores electrónicamente controlados.

En relación con el software de control una estructura robusta por el incremento de la gama de operaciones como de complejidad de funciones que logren compartir información de gran volumen y velocidad de datos para el control de varios sistemas incluso.

Los sistemas de gestión requieren una serie de estrategias y nuevas aplicaciones tanto electrónicas como físicas para reducir el tiempo total de verificación con pruebas de alta calidad y de respuesta con miras de aportar a los vehículos híbridos, y autónomos que van en crecimiento en el mercado.

Referentes

1. Awad, O. I., Ma, X., Kamil, M., Ali, O. M., Zhang, Z., & Shuai, S. (2020). Particulate emissions from gasoline direct injection engines: A review of how current emission regulations are being met by automobile manufacturers. In *Science of the Total Environment* (Vol. 718). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137302>
2. Bhadani, N. (2015). Concept of Virtual Engine Control Module for High Quality and Time Efficient Verification and Testing of Powertrain Engine Control Module. *SAE Technical Papers*, 2015-April(April). <https://doi.org/10.4271/2015-01-0170>
3. Chincholkar, S. P., & Suryawanshi, J. G. (2016). Gasoline Direct Injection: An Efficient Technology. *Energy Procedia*, 90, 666–672. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.235>
4. Dale, J. D., Checkel, M. D., & Smy, P. R. (1997). Application of high energy ignition systems to engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 23(5–6), 379–398. [https://doi.org/10.1016/s0360-1285\(97\)00011-7](https://doi.org/10.1016/s0360-1285(97)00011-7)
5. Deepak, K., & Lakshmanan, T. (2020). Design and analysis of multi fuel injector. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 912(2). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/912/2/022032>

El control y la gestión de la inyección electrónica de combustible para los motores de encendido provocado

6. Dey, S., & Mehta, N. S. (2020). Automobile pollution control using catalysis. *Resources, Environment and Sustainability*, 2, 100006. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2020.100006>
7. Duronio, F., De Vita, A., Montanaro, A., & Villante, C. (2020). Gasoline direct injection engines – A review of latest technologies and trends. Part 2. In *Fuel* (Vol. 265). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116947>
8. Eriksson, L. (2007). Modeling and control of turbocharged SI and DI engines. *Oil & Gas Science and Technology-Revue de l'IFP*, 62(4), 523-538.
9. Estefanous, F., Mekhael, S., Badawy, T., Henein, N., & Zahdeh, A. (2013). Multi sensing fuel injector in turbocharged gasoline direct injection engines. *ASME 2013 Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference, ICEF 2013*, 1. <https://doi.org/10.1115/ICEF2013-19091>
10. Fu, B., & Hu, S. (2014). Automobile fuel consumption intelligent testing technology based on fuel injection pulse-width test method. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 30(18), 176–182. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-6819.2014.18.022>
11. Future Automotive Electronic Systems. (2003). In *Understanding Automotive Electronics* (pp. 401–442). <https://doi.org/10.1016/b978-075067599-4/50011-0>
12. Guasumba-Maila, J. E., Garay-Cisneros, V. A., Solís-Santamaria, J. M., & Jima-Matailo, J. C. (2021). Análisis del sistema de inyección electrónica de combustible para motor de combustión interna respecto a sus fallas y mantenimiento. *Polo del Conocimiento*, 6(1), 603-621.
13. Han, S. Bin, & Chung, Y. J. (1998). A study on the effect of operating conditions for the stability at idle. *KSME International Journal*, 12(4), 694–700. <https://doi.org/10.1007/BF02945730>
14. Hayashi, S., Kubota, Y., Sawa, N., & Kajitani, S. (1991). Influence of operating conditions on output, exhaust emission and combustion variation of low compression ratio methanol injection engines. *SAE Technical Papers*. <https://doi.org/10.4271/910866>

15. He, L., Hu, J., Zhang, S., Wu, Y., Zhu, R., Zu, L., Bao, X., Lai, Y., & Su, S. (2018). The impact from the direct injection and multi-port fuel injection technologies for gasoline vehicles on solid particle number and black carbon emissions. *Applied Energy*, 226, 819–826. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.06.050>
16. Isermann, R. (2014). *Engine modeling and control*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 1017.
17. Lü, L., Hu, J., He, L., & Shi, Y. (2021). Research Progress on Impact of Gasoline Vehicles Technology Development on Exhaust Emission. In *Research of Environmental Sciences* (Vol. 34, Issue 2, pp. 286–293).
18. Payri González, F., & Desantes Fernández, J. M. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Editorial Universitat politècnica de valencia.
19. Rizzoni, G., & Ribbens, W. B. (1989). Crankshaft position measurement for engine testing, control, and diagnosis. *IEEE Vehicular Technology Conference*, 1, 423–436. <https://doi.org/10.1109/vetec.1989.40109>
20. Sanseverino, M., & Cascio, F. (1997). Model-based diagnosis for automotive repair. *IEEE Expert*, 12(6), 33-37.
21. Shivakumar, N., Antony Casmir Jayaseelan, G., Parthiban, Ahmed, & Akshay. (2020). Ignition timing and fuel injection timing control using arduino and control drivers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 993(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/993/1/012019>
22. Shuai, S., Ma, X., Li, Y., Qi, Y., & Xu, H. (2018). Recent Progress in Automotive Gasoline Direct Injection Engine Technology. *Automotive Innovation*, 1(2), 95–113. <https://doi.org/10.1007/s42154-018-0020-1>
23. Skrúcaný, T., Semanová, Š., Milojević, S., & Asonja, A. (2019). New technologies improving aerodynamic properties of freight vehicles. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4(2), 48-54.
24. Synák, F., & Rievaj, V. The Impact of Driving Resistances of a Vehicle on Global Pollution. 2017. In *17 th International Scientific Conference Globalization and Its Socio-Economic Consequences* (pp. 2602-2609).

25. Synák, F., Synák, J., & Skrúcaný, T. (2021). Assessing the addition of hydrogen and oxygen into the engine's intake air on selected vehicle features. *International Journal of Hydrogen Energy*.
26. Tanaka, A., Shimada, H., Hiraiwa, N., Arai, T., Asano, H., & Nishikawa, Y. (2011). Development of an electronic resin throttle body. *SAE Technical Papers*.
27. Tripathy, S., Sahoo, S., & Srivastava, D. K. (2017). Gasoline direct injection-challenges. In *Combustion for Power Generation and Transportation: Technology, Challenges and Prospects* (pp. 367–379). https://doi.org/10.1007/978-981-10-3785-6_16
28. Van Basshuysen, R., & Schäfer, F. (2016). *Internal combustion engine handbook-basics, components, systems and perspectives* (Vol. 345).
29. Yu, S., & Zheng, M. (2021). Future gasoline engine ignition: A review on advanced concepts. In *International Journal of Engine Research* (Vol. 22, Issue 6, pp. 1743–1775). <https://doi.org/10.1177/1468087420953085>
30. Zhang, H. (2019). Simulation modeling of sliding mode control of electronic throttle valve based on control algorithm. *Nonlinear Optics Quantum Optics*, 50(4), 303–314.

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).|