



SENSORES DE OXIGENO....



Informe de Relaciones: Sensores de Oxígeno y Relación Aire/Combustible

por Bob Freudenberger



Como casi todo en el automóvil, los sensores que informan a la computadora que controla el motor sobre el estado de la relación aire/combustible han evolucionado drásticamente en las pasadas cuatro décadas. Pese a eso, todavía es la entrada más importante para permitir el funcionamiento de circuito cerrado que reduce las emisiones del escape y aumenta la eficiencia, pero muchos mecánicos todavía no entienden su funcionamiento, los modos de falla o su diagnóstico.

La investigación del concepto de monitorear electrónicamente la relación aire/combustible para que los ajustes de la cantidad de gasolina entregada al motor para combustión pudiera hacerse dinámicamente comenzó en Robert Bosch GmbH de Alemania en la década de los 60. El principio de la "celda Nernst" se usó para generar una señal de voltaje del potencial eléctrico entre el aire ambiental y los gases de la corriente de escape. Esa señal podría interpretarse mediante lógica electrónica, que luego podría tomar decisiones sobre cuánto combustible debería añadirse a la entrada de aire para producir una carga cercana a la ideal. En 1976, los fabricantes suecos de carros Volvo y SAAB trabajando junto con ingenieros de Bosch lanzaron el sistema de retroalimentación Lambda Sond que puso este principio en práctica.

Computadoras y catalizadores

La computadora de control del motor puede llamarse Módulo de Control Electrónico (ECM), Unidad de Control Electrónico (ECU), Módulo de Control del Tren de Potencia (PCM), o Electrónica del Motor (ME) dependiendo de la marca del vehículo y el país donde esté el conductor. Sea cual fuere el nombre, es la base de la potencia de computación que nos brinda un rendimiento excelente, eficiencia y comodidad de manejo que disfrutamos en los autos y camionetas de hoy. A veces lo hemos comparado a la autoridad central de inteligencia de un país – los espías le envían información, que la unidad analiza a fin de tomar decisiones sobre lo que quiere hacer, y luego ordena a sus operativos en el campo a hacerlo.

La lista de "espías" (sensores) incluye los de posición del cigüeñal y del eje de levas, rpm, temperaturas del refrigerante y de la carga, masa de aire de entrada a la admisión en todo momento, detonación, velocidad del vehículo, etc. Sin em-



Este es un antiguo sensor HEGO (Heated Exhaust Gas Oxygen) de tres cables. El cable negro lleva la señal.

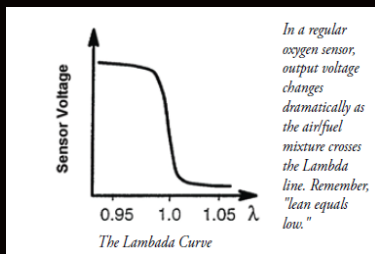
bargo, ninguno tiene un efecto más profundo sobre la mezcla aire/combustible que esos que envían señales referentes a la composición de los gases de escape.

Aunque los convertidores catalíticos tipo oxidación de dos vías (es decir, hidrocarburos y monóxido de carbono) ya estaban en uso para reducir la liberación de esos gases a la atmósfera, eliminar las emisiones de óxidos de nitrógeno requirió la adopción de catalizadores de tres vías de "reducción", que reducen los NOx a oxígeno y nitrógeno inocuos, lo que a su vez depende de "Lambda" casi perfecta (en lenguaje de ingeniería Lambda es la letra griega que representa la relación estequiométrica ideal 14,7: 1 de aire/combustible) para hacer el trabajo.

Aunque los carburadores de retroalimentación se usaron al comienzo para efectuar ese control de la relación variando la cantidad de presión atmosférica sobre el combustible en el tazón, eso fue totalmente eliminado por la inyección electrónica del combustible (EFI) a fines de los años 80, y desde entonces los síntomas se han vuelto más refinados.

Evolución física

El sensor de oxígeno original estaba compuesto por un compartimiento de acero con una cabeza hexagonal y roscas, un resguardo de persiana sobre la punta y un "dedal" hueco en forma de cono hecho de dióxido de circonio (ZrO₂), recubierto por dentro y por fuera con una delgada capa de platino poroso. La capa externa es expuesta a la corriente de escape, en tanto que la interna es ventilada a la atmósfera y conectada a un solo cable que va al ECM.



En un sensor corriente de oxígeno, el voltaje de salida cambia drásticamente a medida que la mezcla aire/combustible cruza la línea Lambda. Recordar que "pobre equivale a baja".

Esto es esencialmente una celda galvánica – el dióxido de zirconio actúa como el electrolito, y las capas de platino sirven como electrodos. Una vez que el ZrO_2 alcanza cerca de $300^\circ C$, se torna conductivo eléctricamente y atrae los iones de oxígeno. Estos iones se recogen en las superficies interna y externa de platino. Naturalmente hay más oxígeno en el aire que en el escape, de manera que el electrodo interno recogerá siempre más iones que el externo, y eso crea un potencial eléctrico – los electrones fluyen.

Cuando el motor funciona con mezcla aire/combustible pobre, hay más oxígeno presente en la corriente de escape que cuando la mezcla es rica. Eso significa que habrá más iones en el electrodo externo, un menor potencial eléctrico y menos voltaje. Recuerde que "L=L" por Lean = Low (Pobre = Baja).

El voltaje producido es pequeño, nunca pasa de 1,3 V (o 1.300 mV) con un rango operacional de 100 a 900 mV. Sin embargo, esto es suficiente para que lea el ECM. Si recibe una señal del sensor de menos de 450 mV, reconoce como condición pobre, y si recibe más que ese voltaje, reconoce funcionamiento rico. De cualquier manera, corrige instantáneamente ajustando la anchura del pulso de inyección (la longitud de

tiempo que los inyectores están energizados por ciclo de combustión en milisegundos).

Calor eléctrico al "planar"

El siguiente paso en el desarrollo de sensores Lambda fue la adición de un elemento calentador eléctrico, a comienzos de la década de los 80. Como ya se mencionó, el sensor tiene que alcanzar $300^\circ C$ antes de poder generar una señal y esta fuente de calor hace que alcance esa temperatura más rápidamente que sólo con los gases de escape. También evita que se enfríe durante el funcionamiento en ralentí, lo que puede causar que el sistema pase a funcionar en circuito abierto.

El sensor "planar", que apareció a mediados de los años 90, fue otra gran mejora. En vez de un dedal pesado, los sensores planar tienen un elemento plano de ZrO_2 (menos de 2mm de espesor) que se proyecta en la corriente de escape. Los electrodos, capa cerámica conductiva, y el calentador son laminados y unidos como una tira que es más pequeña, liviana y más resistente a la contaminación que el diseño de dedal. Además, el elemento calentador requiere menos potencia eléctrica.

Otra ventaja es que los sensores planar envían señales al ECM cinco a siete veces por segundo para mucha más precisión en el manejo del combustible. Dándole una perspectiva histórica, los sensores de O_2 usados en carros con carburadores retroalimentados enviaban casi una señal por segundo, y los usados con inyección por cuerpo de estrangulador brindan sólo dos a tres señales por segundo.

En algunas aplicaciones, se puede modernizar un sensor antiguo de dedal calentado con un planar, pero nunca se puede hacer al revés – no se puede instalar un sensor dedal para reemplazar un planar.



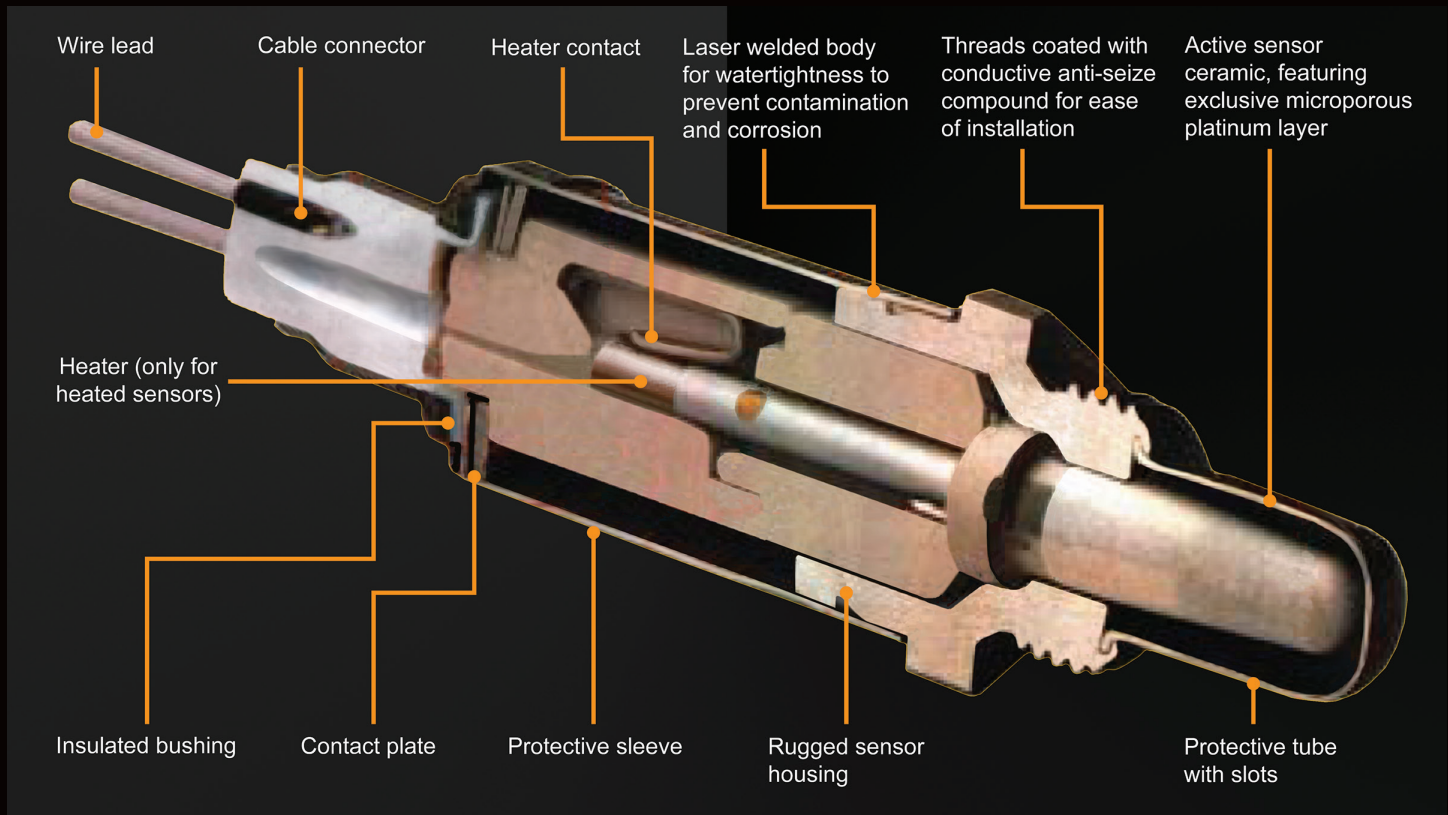
Estos sensores han evolucionado del tipo dedal de un cable al tipo planar y a los sensores AFR de hoy

Gran variación

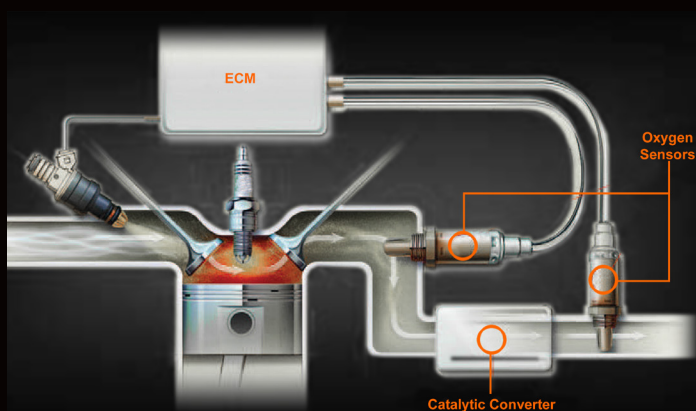
Aunque los sensores planar son más rápidos y mejores que los sensores tipo dedal, todavía funcionan básicamente de la misma manera. En estequiometría, cuando la relación aire/combustible es perfectamente balanceada, los sensores convencionales tienen un voltaje de salida de más o menos 0,45V (450 mV). Cuando la mezcla de combustible es apenas un poco rica, la salida del sensor no sólo aumenta ligeramente. Se eleva a su máximo valor de cerca de 0,9 V. Cuando la mezcla es pobre, la salida del sensor cae rápidamente a 0,1 V. Cada vez que la salida del sensor de oxígeno salta de un lado a otro, el ECM responde reduciendo o aumentando la cantidad de combustible que se entrega a la cámara de combustión. Ese

rápido cambio de un lado a otro logra algo parecido a una condición de estequiometría promedio. Pero los promedios no son suficientes para una eficiencia de combustible óptima y para cumplir las normas de emisiones más recientes. Se necesita un control más preciso de la relación aire/combustible.

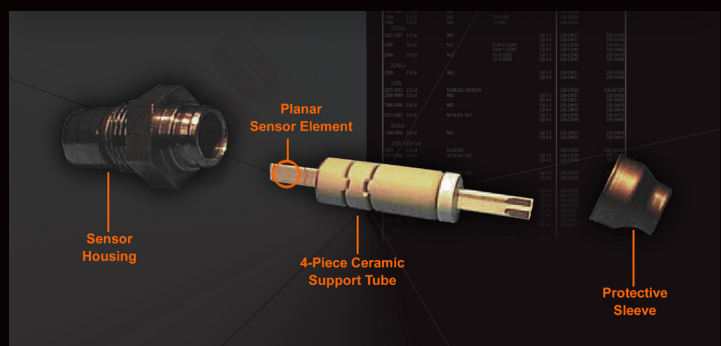
Todo cambió cuando el sensor de gran amplitud, también conocido como sensor aire/combustible (AFR) o sensor de condición pobre apareció a fines de los años 90, y ha hecho posibles motores de quema pobre con las más sorprendentes características. No simplemente envía una señal de mezcla pobre/rica, sino que le dice al ECM cuán rica o pobre es la mezcla suministrando una salida lineal usable en una gran amplitud de relaciones aire/combustible.



El dedal cerámico con su recubrimiento metálico actúa como celda galvánica. La diferencia del contenido de oxígeno del aire de referencia con el del gas del escape genera el voltaje (cortesía de Robert Bosch).



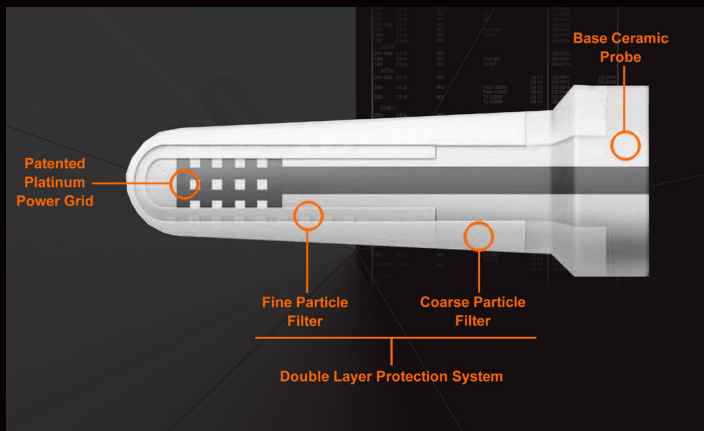
La adición de un sensor de oxígeno corriente abajo del convertidor catalítico permite a los sistemas a bordo de diagnóstico de segunda generación probar la capacidad y eficiencia del catalizador (cortesía de Robert Bosch).



El tipo planar usa una tira unificada mucho más liviana para producir voltaje en vez de un gran dedal. Con su calentador integrado, comienza a mandar las señales precisas del ECM casi inmediatamente con el arranque (cortesía de Robert Bosch).

Agrega una "celda de bombeo" electroquímica a la tira cerámica laminada del sensor planar, que bombea una muestra del oxígeno en el escape a un espacio de "difusión" dentro del sensor. El sensor está diseñado de manera que necesita una cierta cantidad de corriente para mantener un nivel balanceado de oxígeno en la brecha de difusión. Esta corriente es directamente proporcional al nivel de oxígeno en el escape, y equivale a una entrada análoga al ECM. Esto es superior en velocidad a simplemente cambiar de rica a pobre en el umbral de los 450 mV.

Un sensor AFR de banda ancha brinda lecturas precisas de relaciones aire-combustible desde muy ricas (Λ 0,7, o una relación aire/combustible de cerca de 11:1 a aire puro, sin combustible. El sensor recibe un voltaje de referencia del ECM y genera una señal correspondiente a la mezcla de combustible. Funciona a una temperatura dos veces mayor que la de los diseños de sensores más antiguos, y la alcanza 20 segundos después de un arranque en frío. El tiempo de



Aunque todos los sensores de oxígeno están contruidos cuidadosamente para que partículas dañinas no pasen al zirconio recubierto de platino, la contaminación es todavía el mayor problema (cortesía de Robert Bosch).



Uno de los primeros pasos para evaluar el sensor de oxígeno debe ser la herramienta de escanear.

respuesta a los cambios de la relación aire/combustible es menos de 100 de oxígeno del escape refleja estequiometría, y se usa para modificar una señal de referencia (típicamente de un voltio) de la computadora, de la misma manera que lo hace un sensor de temperatura del refrigerante. El oxígeno bloquea el paso de electrones a través del elemento de TiO_2 , y la resistencia aumenta drásticamente a medida que la mezcla se torna pobre.

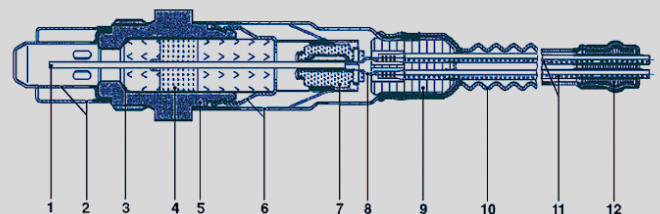
Si alguna vez se encuentra un sensor con roscas de 12 mm en vez de la norma de 18 mm, o un cable de código de color rojo, probablemente se trata de un sensor tipo titanio.



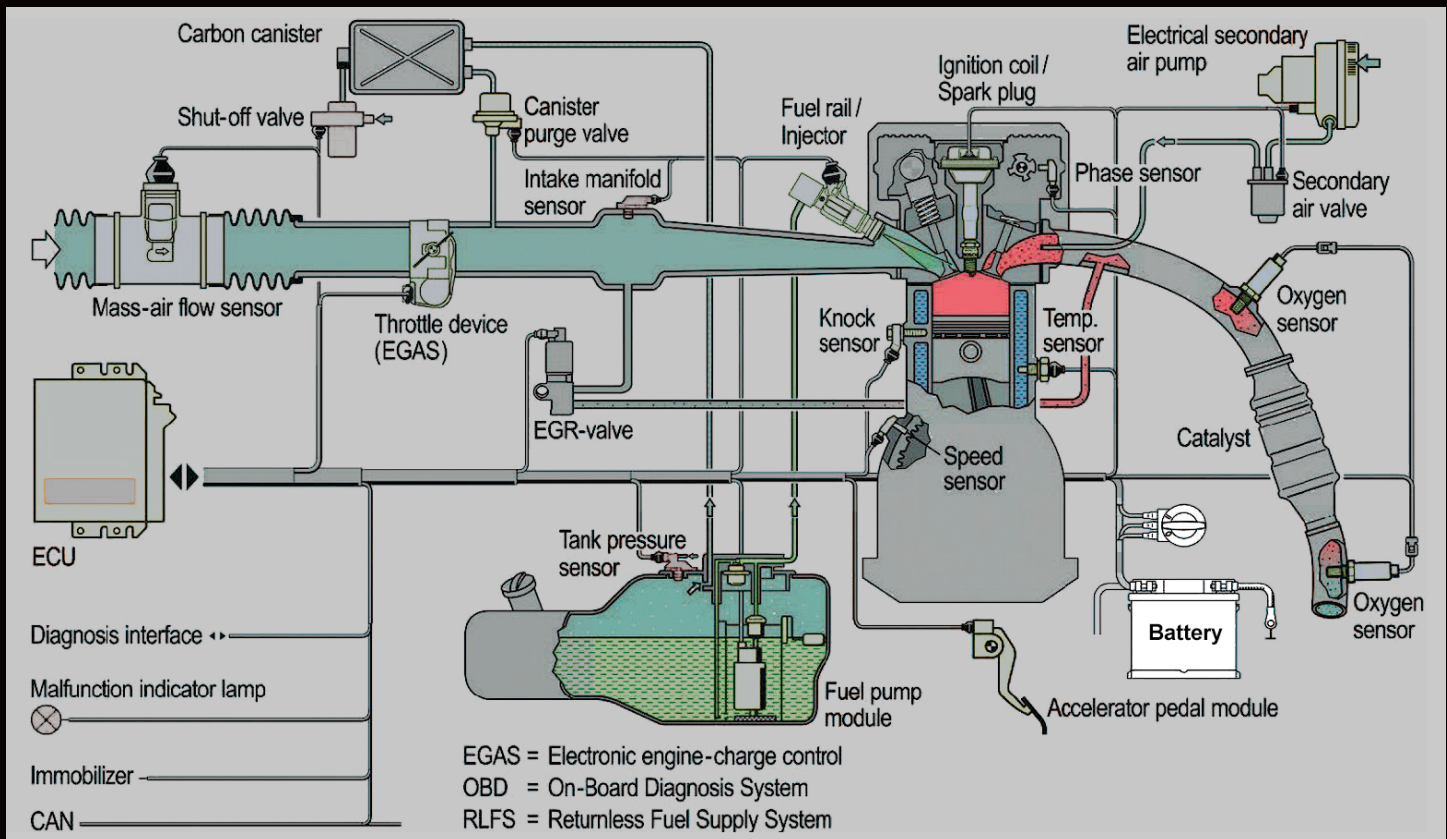
Aunque por fuera puede verse muy similar a un sensor planar, el tipo de banda ancha envía a la computadora una señal totalmente diferente, que resulta en control mucho más preciso de la mezcla que con la oscilación de un sensor corriente de oxígeno de dedal o planar.

Heated Wideband Sensor

1 Sensor element (combination of Nernst concentration cell and oxygen-pump cell), 2 Double protective tube, 3 Seal ring, 4 Seal packing, 5 Sensor housing, 6 Protective sleeve, 7 Contact holder, 8 Contact clip, 9 PTFE sleeve, 10 PTFE shaped sleeve, 11 Five connecting leads, 12 Seal



Si todavía no ha visto un sensor de oxígeno de banda ancha, es hora de hacerlo. Es así por dentro. Observar que la celda de bombeo le permite producir una señal directamente proporcional a la relación aire/combustible, en vez del cambio entre alta y baja de los sensores tradicionales.

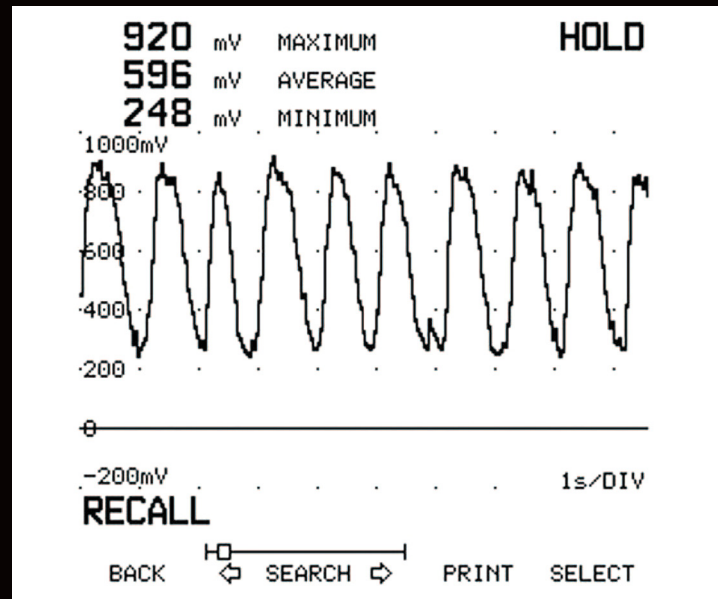


Este sistema Motronic de diagnóstico a bordo de segunda generación muestra cuánto involucra el control de los motores modernos. Sin embargo, pese a todos los recientes desarrollos, los sensores de oxígeno siguen siendo el eje central del control preciso de la mezcla aire/combustible.

Conexiones

Aunque el sensor básico de primera generación tiene un solo cable, hoy se ven hasta cuatro en los sensores tipos dedal y planar. En muchos casos, dos cables significan que es una unidad antigua no calentada – el cable adicional sólo brinda una conexión a tierra más confiable que el contacto de la rosca en el múltiple o tubería. Tres cables indican un sensor HEGO (por Heated Exhaust Gas Oxygen) uno para la señal, dos para el circuito de calentamiento. Aunque el cable de señal es típicamente negro, puede ser difícil determinar cuál de los otros dos es a tierra y cuál es el de 12 V del elemento calentador, de manera que un diagrama del cableado sería muy útil. Típicamente, un cuarto cable es una conexión a tierra dedicada para la porción de la señal.

Los sensores AFR de banda ancha tienen cinco o seis cables: dos para potencia y tierra del elemento calentador, uno para la celda de bombeo, el elemento sensor, y un resistor de calibración, y a veces una tierra extra.



Con un osciloscopio de taller se puede ver fácilmente la clase de señal que envía el sensor de oxígeno. Obviamente ésta es una buena señal.

Fallas

Al comienzo de la historia del manejo del motor en circuito cerrado, se recomendaba reemplazar el sensor de oxígeno cada 25.000 ó 50.000 Km. La experiencia mostró que muchos siguen funcionando debidamente tras varias veces esas cifras, y los intervalos regulares de cambio se alargaron a 100.000 Km y luego se eliminaron. Aquí la palabra clave es “muchos”, pues no es raro que algunos fallen prematuramente.

Los sensores de oxígeno pueden echarse a perder por varios factores. Daño mecánico en forma de elemento o cable roto es siempre una posibilidad, pero la causa más común de falla es la contaminación. Plomo, carbono, metales de los aditivos del aceite y silicio (de los sellos de silicona RTV altamente volátiles o delanticongelante – esperar problemas del sensor de oxígeno toda vez que se reemplaza una empaquetadura del cabezal quemada) en el escape pueden recubrir el ZrO_2 y hacer que la unidad sea muy lenta o inoperativa.

Los depósitos en el lado del escape de la celda aumentan el voltaje de la salida, dando una falsa señal de mezcla rica. Eso causa al sistema ir a mezcla pobre, resultando tal vez en problemas de rendimiento y manejo del vehículo. Muchos técnicos nunca han considerado la posibilidad de contaminación del electrodo en el lado de referencia del aire, no obstante puede ser un problema. Típicamente procede del humo que sale durante el deterioro de los sellos de caucho silicona o del aislamiento, o de productos químicos en aerosol, etc. usados debajo del capot. El bloqueo de la referencia de aire reduce el potencial de voltaje de la unidad, haciendo que envíe una falsa señal de mezcla baja que a su vez hace que la mezcla se haga rica.

Los síntomas de un sensor de oxígeno lento o muerto son pulsación, jaloneo, mal rendimiento general del vehículo, caída del kilometraje por litro de combustible, ralenti áspero, falla de la prueba de emisiones, y convertidor catalítico ineficiente u obstruido. Desafortunadamente esos problemas pueden también ser causados por otras condiciones además de un sensor de oxígeno AFR con mal funcionamiento, por eso deben seguirse los procedimientos de diagnóstico adecuados.

Herramientas

En lo referente a equipos, lo primero y más obvio es una herramienta de escanear. Mirar el voltaje del O_2 , recuentos cruzados (la tasa de cambio por el umbral de 450 mV), y la compensación de combustible es esencial. Por supuesto, también hay los códigos de falla del sistema de diagnóstico a bordo. Sin embargo, muchos mecánicos prefieren respaldar esos datos con verificaciones directas. Un buen multímetro digital (DMM) con escala de barra de voltaje, un multímetro graficador o un osciloscopio de taller sirven bien, pero hemos tenido éxito con medidores dedicados para sensores de O_2 .

Desde hace años existe un procedimiento de Robert Bosch para probar con el sensor aislado de la computadora. Comenzar calentando el motor, luego desconectar la coleta del sensor de su arnés y conectarla directamente al medidor o probador. Para verificar la respuesta de mezcla rica, mantener 2.500 rpm, y agregar propano en la admisión hasta que la velocidad baje a 200 rpm. O desconectar la manguera de vacío y conectarla al regulador de presión de combustible, lo que aumentará la



El DMM debe tener una barra de escala de voltaje a fin de ser útil para verificar la salida del sensor de oxígeno, pero un multímetro graficador o un osciloscopio dan mejor información.

presión y hará la mezcla más rica. Se verá que la lectura sube a 900 mV o más. Si la reacción es lenta, o nunca se alcanza ese voltaje, tratar de hacer funcionar el motor a 3.000 rpm por unos cuantos minutos y volver a verificar. Si no hay mejora quiere decir que se necesita un nuevo sensor.

Luego, probar la respuesta pobre. Introducir una pequeña fuga de vacío, digamos retirando una manguera accesoria, y observar la lectura. Si cae a 0,2 V o más baja en menos de un segundo, el sensor está bien. Si la lectura cae lentamente o si nunca baja a 0,2 V darle el tratamiento de las 3.000 rpm y probar nuevamente, pero probablemente hay que reemplazar el sensor.

Volver a conectar la coleta para nuevamente poner el sensor en contacto con la computadora, luego conectar el medidor con el cable de la señal, mantener 1.500 rpm, y se podrá ver lecturas que cambian rápidamente y promedian alrededor de medio voltio a medida que la computadora ajusta

la mezcla. Decidir si la respuesta es lenta como para justificar un reemplazo del sensor requiere algo de criterio. En sensores pre-planares la regla general de actividad mínima eran ocho cambios de rica a baja en diez segundos, y a veces se pueden encontrar especificaciones para esos cambios.

Las cosas son diferentes con los vehículos dotados de diagnóstico a bordo de segunda generación (OBD II). No sólo hay HEGO antes y después de catalizador, sino que en él se efectúan dos tipos de pruebas. Uno monitorea la actividad del sensor, y el otro verifica el elemento de calentamiento eléctrico del sensor. Un sensor de oxígeno puede fallar la actividad de monitoreo por una tasa lenta de respuesta, que a veces se denomina un "gran declive" por cómo se ve la onda en un osciloscopio. O puede fallar por tener un cambio muy pequeño en el voltaje de salida de mezcla rica a pobre y viceversa.

Probando bandas anchas

Los síntomas de un sensor de banda ancha dañado son los mismos que los de cualquier otro sensor de oxígeno:

- Luz indicadora de malfuncionamiento/revisar motor encendida o código de falla establecido.
- Prueba de emisiones fallida, generalmente con alta lectura de CO y/o HC.
- Convertidor catalítico dañado causado por exposición prolongada a una mezcla demasiado rica.
- Caída del kilometraje por litro de combustible atribuible a una mezcla rica.

Extras

Para concluir aquí van algunos puntos variados sobre el tema:

- Los sistemas de diagnóstico de segunda generación a bordo (comúnmente llamados OBD II), que se han adoptado en muchas partes del mundo, usan un sensor adicional de oxígeno corriente abajo del convertidor catalítico para probar la capacidad y eficiencia del catalizador.
- Un sensor de oxígeno es un dispositivo que utiliza promedios y responde al cilindro con la mezcla más baja – no distingue entre cilindros. Si un inyector no funciona o está obstruido, ese cilindro bombeará suficiente oxígeno en el escape como para engañar al ECM y hacerle "creer" que hay una condición general de mezcla pobre. Por eso la enriquecerá innecesariamente.
- La contaminación del sensor no siempre es permanente. Hacer funcionar el motor a 3.000 rpm por varios minutos

- Reclamos del rendimiento del motor tales como "funcionamiento áspero" o "lento".

A diferencia de sensores anteriores, no se puede usar un osciloscopio ni un DMM para diagnosticar un sensor AFR. La señal de salida de un sensor de banda ancha varía en amplitud y dirección. La única forma de monitorear su funcionamiento es con una herramienta para escanear ligada al enlace del diagnóstico a bordo.

Así conectado, se puede leer la relación aire/combustible real y revisar la reacción del sensor a los cambios de esa relación. Por ejemplo, abrir completamente el estrangulador típicamente causa una breve condición de mezcla muy pobre seguida de una condición rica. Con la aptitud de respuesta rápida del sensor de banda ancha, la herramienta de escanear debe mostrar una relación aire/combustible uniforme si el sensor funciona debidamente.

Se debe consultar los pasos específicos de diagnóstico para el carro en el que se trabaja, pero como regla general la herramienta de escanear debe mostrar código de oxígeno del sensor si la señal está fuera de su rango normal, si las lecturas no tienen sentido para el ECM, o si falla el circuito de calentamiento.

Incluso los sensores AFR pueden ser engañados si hay una fuga de aire entre el escape del múltiple y la culata, o por un petardeo que bombea al escape una carga de aire/combustible sin quemar. Estas situaciones causan una señal falsa que hace que el ECM ajuste la mezcla erróneamente.

o conducir el vehículo y volver a probar. Eso podría haber quemado lo que estaba interfiriendo la generación de voltaje. Por otro lado, si los depósitos de silicio o metal se calientan lo suficiente, se derretirán formando un recubrimiento que jamás podrá retirarse.

- Siempre que se reemplace un sensor de oxígeno, cerciorarse de recubrir las roscas con un compuesto adecuado contra el agarrotamiento. De otra manera, quien tenga que retirarlo más adelante podría encontrar dificultades para hacerlo.

- Si hay temor de quebrar el enchufe del sensor de oxígeno porque el sensor está tan ajustado que hay que aplicar demasiada torsión, hay una alternativa sencilla. Siempre que se esté reemplazando el sensor, simplemente corte los cables con un alicate y use un casquillo profundo corriente.



WALKER PRODUCTS • 525 WEST CONGRESS STREET • PACIFIC, MO 63069

U.S. Corporate Office: 636-257-2400 • Fax: 636-257-6211

Customer Service: 636-257-1700 • Technical Support: 844-252-0114

U.K. Sales Office and Distribution Center: +44-121-459-8006 • saleseurope@walkerproducts.com

Oficinas para Mexico: +52-72-2402-2167 • Soporte tecnico y servicio al cliente en Mexico: +52-72-2207-8957

www.walkerproducts.com