

Analiza składu spalin silników ZI cz. 2

Kompendium praktycznej wiedzy

mgr inż. Stefan Myszkowski

dodatek techniczny do WIADOMOŚCI Inter Cars S.A. nr 30/ marzec 2009

Wiadomości



Spis treści

Od autora	2
Trójfunkcyjny konwerter katalityczny w układzie wylotowym silnika	2
Napięciowy czujnik tlenu w spalinach	5
Układ regulacji składu mieszanki z jednym czujnikiem tlenu	7
Zużycie lub uszkodzenia napięciowego czujnika tlenu a praca układu regulacji składu mieszanki	10
Obliczanie i adaptacja czasu wtrysku	12
Diagnostyka silnika ZI i jego układów, na podstawie oceny składu spalin	14

Od autora



Szanowni czytelnicy,

w tej części artykułu uzupełnimy wiedzę teoretyczną o podstawy działania trójfunkcyjnych konwerterów katalitycznych oraz układów regulacji składu mieszanki, z czujnikami tlenu. To niezbędna wiedza, by interpretować informacje o składzie spalanych spalin, ponieważ wymienione układy w istotny sposób wpływają na ich skład.

Gdy analizujemy wyniki składu spalin (poznamy przykłady różnych składów spalin), ich wartości nie pozwalają jednoznacznie odpowiedzieć na pytania:

- czy układy oczyszczania spalin, silnik i jego układy sterujące są sprawne, mimo, że skład spalin jest prawidłowy?
- gdzie jest przyczyna nieprawidłowego składu spalin – w silniku, jego układach sterujących czy oczyszczania spalin?

Pomocny jest odczyt ze sterownika silnika wartości współczynników adaptacyjnych i ich interpretacja – dlatego je też poznamy.

Liczę na Państwa uwagi dotyczące przedstawianych zagadnień oraz sugestie, o czym chcecie Państwo czytać w przyszłości - stefan.myszkowski@neostrada.pl.

Stefan Myszkowski

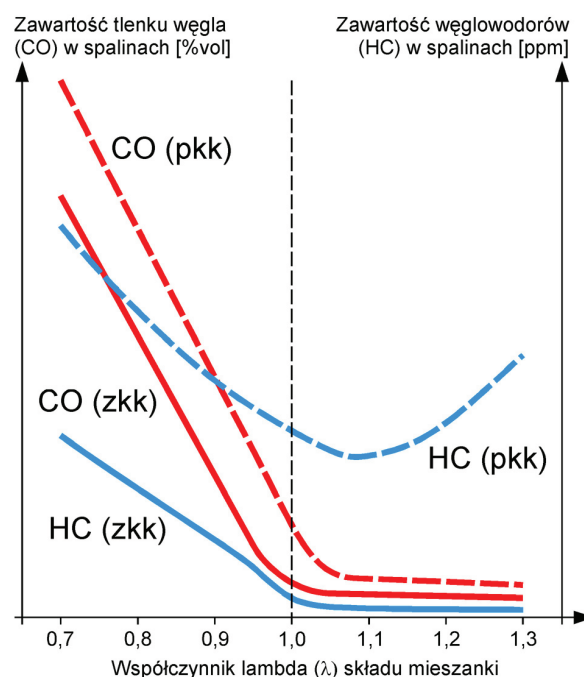
8. Trójfunkcyjny konwerter katalityczny w układzie wyłotowym silnika

Trójfunkcyjny konwerter katalityczny ma w układzie wyłotowym silnika następujące zadania:

- usunięcie ze spalin możliwie największej ilości tlenu węgla (CO) i węglowodorów (HC) - można powiedzieć, że w konwerterze katalitycznym następuje dokończenie procesu spalania rozpoczętego w silniku;
- usunięcie ze spalin możliwie największej ilości tlenków azotu (NO_x).

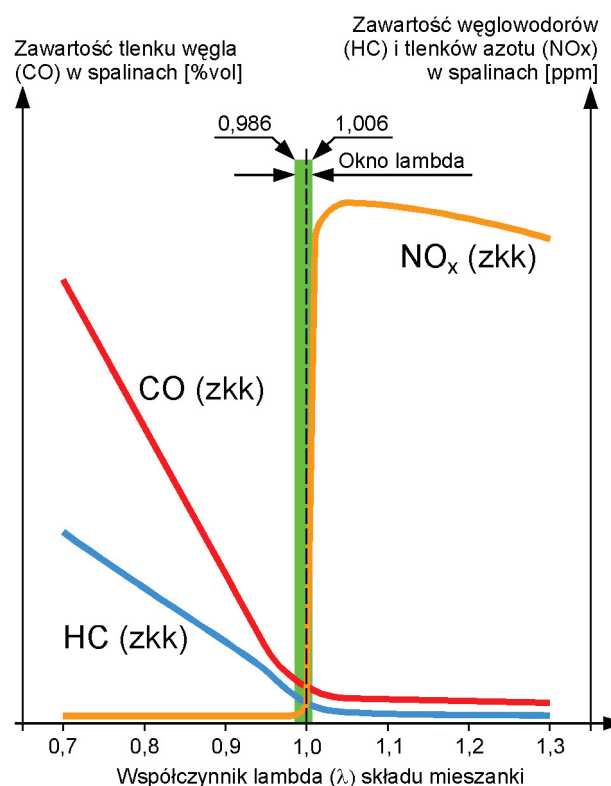
Tlenek węgla (CO) i węglowodory (HC) są usuwane ze spalin w procesach utleniania. Przebiegają one w konwerterze katalitycznym tym intensywniej, im więcej tlenu (O_2) jest w spalinach. Dlatego im uboższa jest spalana mieszanka, a więc o wyższej wartości współczynnika lambda (λ), tym niższa jest zawartość w spalinach za konwerterem katalitycznym (rys. 21):

- tlenu węgla [CO(zkk)];
- węglowodorów [HC(zkk)], mimo że ich zawartość w spalinach przed konwerterem katalitycznym [HC(pkk)]



Rys. 21 Zawartości w spalinach silnika ZI tlenu węgla (CO) i węglowodorów (HC) przed (pkk) i za konwerterem katalitycznym (zkk), w zależności od wartości współczynnika lambda (λ) składu spalanej w silniku mieszanki.

Proszę zauważyć na rys. 22 i 23, że trójfunkcyjny konwerter katalityczny praktycznie nie usuwa ze spalin tlenków azotu (NO_x), jeśli przepływają przez niego spaliny pochodzące ze spalania mieszanki ubogiej. Jego specjalna konstrukcja hamuje to zjawisko, ale jest to skuteczne tylko jeśli zubożenie jest niewielkie i chwilowe, czyli takie, jakie występuje przy pracy sprawnego układu regulacji składu mieszanki.



Rys. 23 Zawartości składników szkodliwych w spalinach silnika ZI, mierzone za konwerterem katalitycznym (zkk): CO - tlenku węgla; HC - węglowodorów; NO_x - tlenków azotu, w zależności od wartości współczynnika lambda (λ) składu spalanej w silniku mieszanki.

Wiadomości	Dodatek techniczny	3
-------------------	--------------------	---

8.1. Współczynniki konwersji składników spalin przez konwerter katalityczny

Współczynnik konwersji dla określonego składnika spalin, podaje w procentach, jaka część zawartości określonego składnika w spalinach jest usuwana ze spalin przez konwerter katalityczny, w stosunku do zawartości tego składnika w spalinach przed konwerterem katalitycznym. Obliczamy go ze wzoru:

$$K_X = \frac{X_{PKK} - X_{ZKK}}{X_{PKK}} \times 100\%$$

w którym:

- K_X - współczynnik konwersji dla określonego składnika spalin [%]
- X_{PKK} - zawartość określonego składnika w spalinach przed konwerterem katalitycznym [%obj.]
- X_{ZKK} - zawartość określonego składnika w spalinach za konwerterem katalitycznym [%obj.]

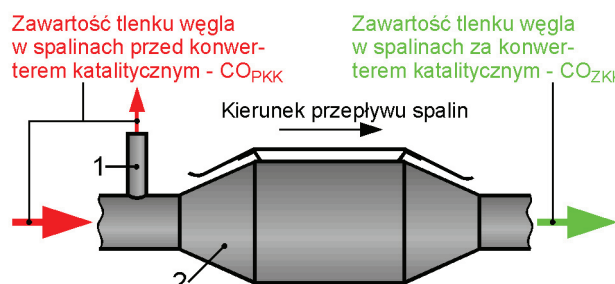
Jeśli konwerter katalityczny posiada rurkę do poboru spalin przez nim (rys. 24), to w warunkach serwisu samochodowego, z poniższego wzoru, można obliczyć współczynnik konwersji dla tlenku węgla (CO):

$$K_{CO} = \frac{CO_{PKK} - CO_{ZKK}}{CO_{PKK}} \times 100\%$$

w którym:

- K_{CO} - współczynnik konwersji dla tlenku węgla [%]
- CO_{PKK} - zawartość tlenku węgla w spalinach przed konwerterem katalitycznym [%obj.]
- CO_{ZKK} - zawartość tlenku węgla w spalinach za konwerterem katalitycznym [%obj.]

Na podstawie jego wartości, można ocenić stopień zużycia konwertera katalitycznego. W warunkach serwisu samochodowego, nie ma sensu obliczanie współczynników konwersji dla węglowodorów (HC) i tlenków azotu (NO_x), bowiem pomiar ich rzeczywistej zawartości w spalinach jest obarczona znacznym błędem.



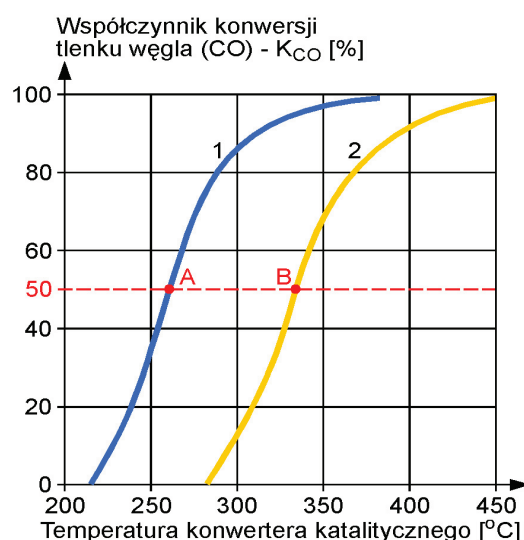
Rys. 24 Jeśli rurką (1), można pobrać spaliny przed konwerterem katalitycznym (2), to na podstawie zmierzonej w nich zawartości tlenku węgla (CO_{PKK}), oraz na podstawie zawartości tlenku węgla w spalinach pobranych za konwerterem katalitycznym, a więc z końca układu wylotowego (CO_{ZKK}), można obliczyć współczynnik konwersji konwertera katalitycznego dla tlenku węgla (K_{CO}) - patrz wzór nr 6.

8.2. Nagrzewanie konwertera katalitycznego i jego temperatury

Aby konwerter katalityczny pracował, musi mieć określoną temperaturę. Po uruchomieniu silnika, jest on początkowo nagrzewany tylko przez przepływające spaliny. Każdy ze składników szkodliwych zaczyna być usuwany ze spalin dopiero po osiągnięciu przez konwerter katalityczny określonej temperatury. Przykładowe wykresy zmiany współczynnika konwersji dla tlenku węgla (K_{CO}) przedstawia rys. 25.

Nowy konwerter katalityczny zaczyna usuwać ze spalin tlenek węgla (CO) gdy osiągnie temperaturę ok. 220°C (linia 1, rys. 25). Jednak zgodnie z umową, za temperaturę początku usuwania ze spalin każdego składnika szkodliwego, przyjmuje się temperaturę, przy której konwerter katalityczny usuwa ze spalin 50% danego składnika, czyli współczynnik konwersji dla tego składnika spalin osiąga wartość 50%. Dla przykładowego, nowego konwertera katalitycznego z rys. 25, temperatura ta wynosi ok. 260°C - punkt A na wykresie.

Jednak dla częściowo zużytego konwertera katalitycznego (linia 2, rys. 25), temperatura ta jest wyższa i wynosi ok. 330°C - punkt B na rys. 25. Wynika z tego wniosek praktyczny - im większy jest przebieg samochodu (od 80000km dla konwerterów katalitycznych w pojazdach z końca lat osiemdziesiątych i początku dziewięćdziesiątych; znacznie wyższy dla konwerterów katalitycznych w samochodach współczesnych) tym sumiennie trzeba dbać, aby podczas analizy spalin konwerter katalityczny miał wymaganą temperaturę pracy. Jeśli będzie ona za niska, to zmierzone zawartości składników spalin, będą sugerować większe jego zużycie niż jest ono w rzeczywistości.



Rys. 25 Zmiana wartości współczynnika konwersji tlenku węgla (K_{CO}) przez konwerter katalityczny, czyli zdolności do usuwania ze spalin tlenku węgla (CO), podczas nagrzewania konwertera katalitycznego: 1 - nowego; 2 - częściowo zużytego. Umowna temperatura początku pracy ($K_{CO} = 50\%$) dla nowego konwertera katalitycznego (pkt. A) jest niższa niż dla konwertera katalitycznego o częściowym zużyciu (pkt. B)

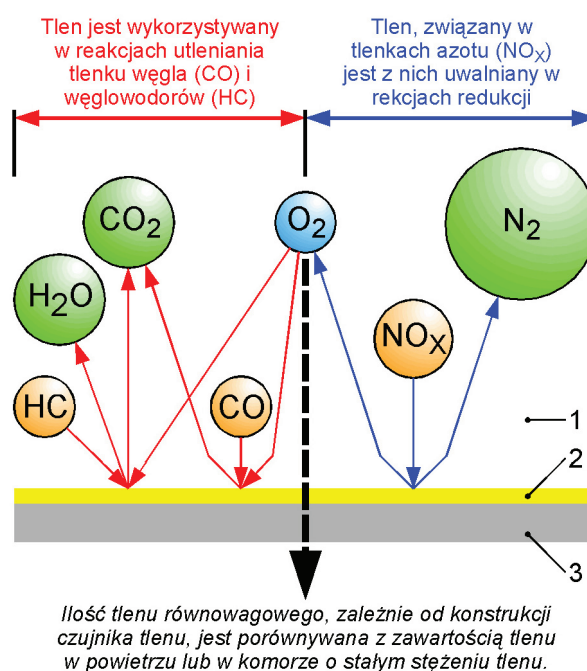
Gdy konwerter katalityczny rozpoczął pracę, czyli gdy przebiegają w nim reakcje katalityczne to ciepło w nich powstające ogrzewa go do temperatury wyższej od temperatury napływających spalin. Optymalnym zakresem temperatur pracy dla konwertera katalitycznego, jest zakres od 400°C do 800°C. Temperatura pracy konwertera katalitycznego z wkładem ceramicznym nie powinna przekraczać 800°C, a z wkładem metalowym 950°C. Przekroczenie tych temperatur rozpoczyna proces topienia nośnika i innych jego uszkodzeń.

O to, by temperatura konwertera katalitycznego nie przekroczyła wartości bezpiecznej, dba program sterownika silnika. Jeśli w silniku i jego układzie sterowania nie ma uszkodzeń, to przekroczenie nie nastąpi. „Zabójcze” dla konwertera katalitycznego są wszystkie nieprawidłowości przebiegu procesu spalania w komorach spalania silnika, powodujące że nie cała mieszanka paliwowo-powietrzna ulega w nich spalaniu (przyczyną są nie tylko uszkodzenia układu zapłonowego!). Potocznie mówimy o „wypadaniu zapłonów”. Niespalona w silniku mieszanka paliwowo-powietrzna, utlenia (dopala) się w konwerterze katalitycznym, silnie zwiększając jego temperaturę. Może ona przekroczyć znaczenie temperaturę bezpieczną dla ceramicznego lub nawet metalowego wkładu katalitycznego. Wszystkie silniki z systemem diagnostycznym standardu OBDII/EOBD ma specjalny program tzw. monitor wypadania zapłonów, który wykrywa wypadania zapłonów. Zapobiega to uszkodzeniom, które są ich następstwem.

9. Napięciowy czujnik tlenu w spalinach

9.1. Zawartość tlenu równowagowego w spalinach

Tlen, znajdujący się w mieszance paliwowo-powietrznej, jest wykorzystywany w procesie spalania w silniku. Równolegle do procesu spalania, rzecz można konkurencyjnie, przebiega proces wiązania się azotu i tlenu. Oba gazy są składnikami powietrza. Do temperatury ok. 1800°C nie reagują z sobą. Przy panujących w komorze spalania ciśnieniach i lokalnych temperaturach, wyższych niż 1800°C, pomiędzy azotem i tlenem zachodzą reakcje, w wyniku których powstają tlenki azotu (NO_x). Powstające tlenki azotu zmniejszają ilość tlenu w komorze spalania, który mógłby być potrzebny w procesie spalania. W spalinach opuszczających komory spalania silnika jest tzw. wolny tlen. Jest to suma:



Rys. 26 Schematyczne przedstawienie procesu wydzielania ze spalin tlenu równowagowego, którego ilość jest następnie mierzona przez każdy z typów czujnika tlenu. Oznaczenia na rysunku: 1 - spaliny napływające z silnika; 2 - warstwa katalityczna; 3 - nośnik warstwy katalitycznej. Składniki spalin: HC - węglowodory; CO - tlenek węgla; NO_x - tlenki azotu; H_2O - woda (w postaci pary); CO_2 - dwutlenek węgla; N_2 - azot; O_2 - tlen.

- tlenu niewykorzystanego w procesie spalania (lokalny brak warunków do procesu spalania, nieprawidłowy skład mieszanki, za mało czasu);
- tlenu zbędnego w procesie spalania paliwa (jeśli spalana jest mieszanka uboga).

Aby można określić skład spalanej mieszanki na podstawie zawartości tlenu spalinach należy najpierw wydzielić ze spalin tzw. tlen równowagowy. W każdym z typów czujników tlenu, tlen równowagowy jest wydzielany ze spalin przez przywrócenie równowagi termodynamicznej pomiędzy składnikami spalin 1 (rys. 26), w miejscu ich styku z warstwą katalityczną 2, która wchodzi w skład elementu pomiarowego każdego czujnika tlenu. Podczas przywracania równowagi termodynamicznej pomiędzy składnikami spalin (rys. 26):

1. następuje redukcja (rozkład) tlenków azotu (NO_x) na azot (N_2) i tlen (O_2);
2. tlen (O_2) „odzyskany” z tlenków azotu oraz wolny tlen znajdujący się w spalinach, są wykorzystywane do utlenienia (dopalenia) znajdujących się w spalinach tlenku węgla (CO) i niespalonych w silniku węglowodorów (HC), tak by powstał dwutlenek węgla (CO_2) i para wodna (H_2O).

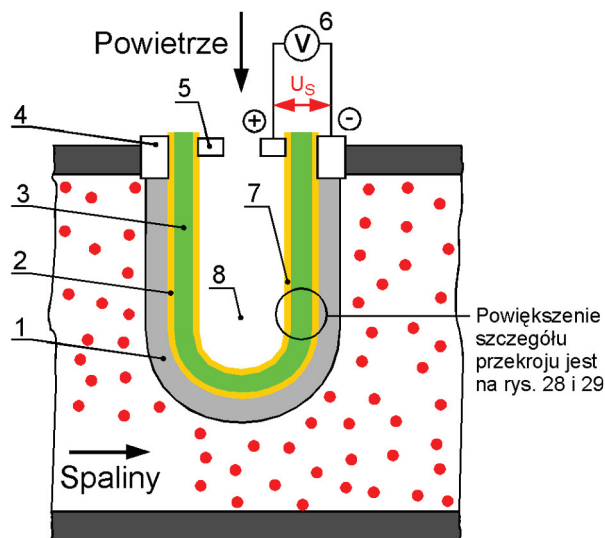
Ilość tlenu równowagowego wydzielonego ze spalin w następstwie powyższych reakcji, jest mierzona przez czujnik tlenu.

Dla informacji dodam, że analizatory spalin mierzą w spalinach zawartość tzw. wolnego tlenu, a więc mierzą inną zawartość tlenu w spalinach niż czujniki tlenu w spalinach.

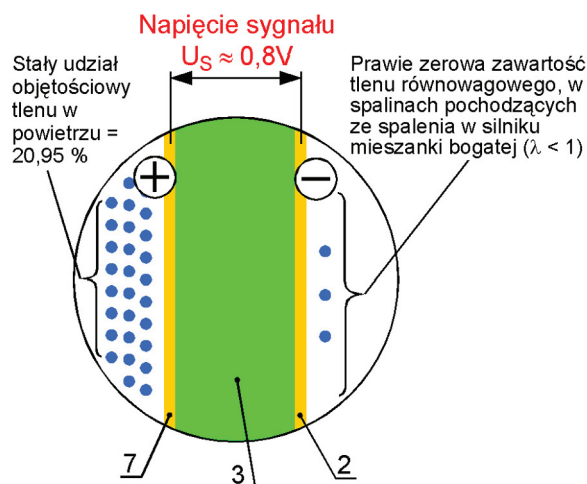
9.2. Budowa i zasada działania napięciowego czujnika tlenu w spalinach

To najczęściej stosowany typ czujnika tlenu w spalinach. Rys. 27 prezentuje przekrój elementu pomiarowego napięciowego czujnika tlenu, typu „kubkowego”. Jest to najważniejsza część każdego czujnika tlenu. Zewnętrzna strona elementu pomiarowego jest omywana strumieniem spalin, płynących przez układ wylotowy. Wnętrze elementu pomiarowego czujnika 8 jest wypełnione powietrzem atmosferycznym - nazywamy go powietrzem odniesienia. Zawartość tlenu w powietrzu odniesienia jest przyjęta za stałą.

Najważniejszą częścią napięciowego czujnika tlenu jest stały elektrolit 3 (rys. 27) wykonany z dwutlenku cyrkonu ZrO_2 , stabilizowanego tlenkiem itru Y_2O_3 - nazywany potocznie ceramiką specjalną. Obie strony ceramiki specjalnej są pokryte cienkimi warstwami platyny 2 i 7, o porowatej strukturze, przepuszczalnej dla gazu. Wewnętrzna warstwa platyny 7 jest elektrodą dodatnią. Styka się ona z powietrzem odniesienia 8. Zewnętrzna warstwa platyny 2, omywana spalinami, jest elektrodą ujemną. Elektroda zewnętrzna 2 i ceramika specjalna 3 są chronione przed pozostałościami procesu spalania przez warstwę porowatej ceramiki ochronnej 1. Złącza 4 i 5, są elementami połączeniowymi elektrod 2 i 7.



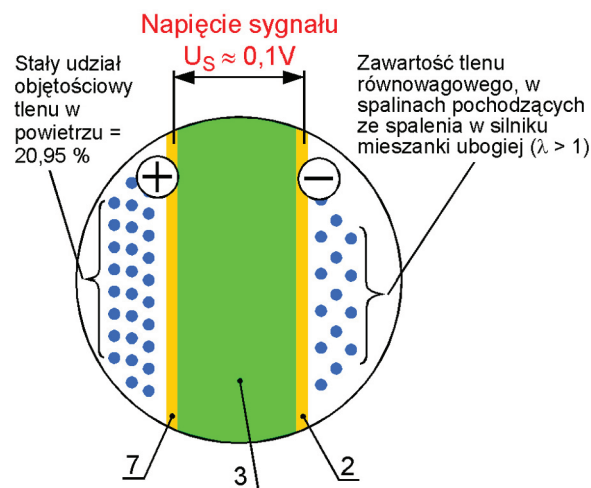
Rys. 27 Przekrój elementu pomiarowego napięciowego czujnika tlenu, typu „kubkowego”. Elementy na rysunku: 1 - warstwa porowatej ceramiki ochronnej; 2 - platynowa elektroda zewnętrzna (ujemna); 3 - ceramika specjalna (stały elektrolit); 4 - złącze elektrody zewnętrznej; 5 - złącze elektrody wewnętrznej; 6 - woltomierz; 7 - platynowa elektroda wewnętrzna (dodatnia); 8 - powietrze odniesienia. U_s oznacza napięcie sygnału napięciowego czujnika tlenu. Na rysunku nie jest pokazana rurka osłonowa elementu pomiarowego.



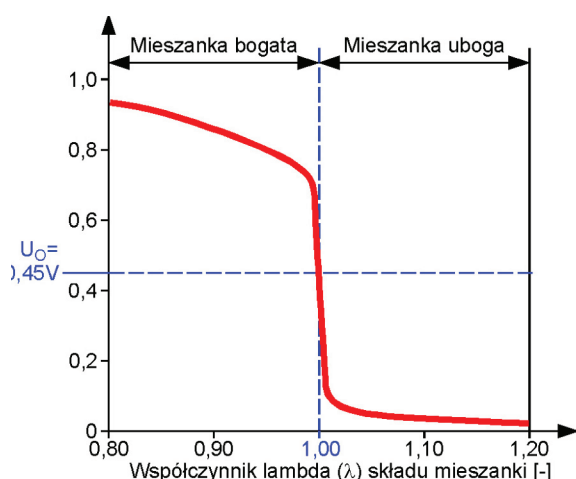
Rys. 28 Powiększenie szczegółu przekroju elementu pomiarowego z rys. 27. Jeśli element pomiarowy napięciowego czujnika tlenu, o temperaturze roboczej, jest opływany przez spaliny pochodzące ze spalania mieszanki bogatej, to pomiędzy elektrodami wewnętrzną 7 i zewnętrzną 2, pokrywających ceramikę specjalną 3, powstaje napięcie sygnału napięciowego czujnika tlenu (U_s) o wartości ok. 0,8V.

Temperatura pracy elementu pomiarowego wynosi od 350°C do 850°C (temperatura optymalna ok. 600°C). Nowoczesne czujniki tlenu, nazywane np. przez firmę NGK/NTK niskotemperaturowymi, mogą pracować już przy temperaturze elementu pomiarowego ok. 220°C do 250°C.

Pomiar zawartości tlenu w spalinach rozpoczyna się od przywrócenia równowagi termodynamicznej pomiędzy składnikami spalin, na styku spalin z elektrodą ujemną 2. W jej wyniku następuje wydzielenie ze spalin tlenu równowagowego.



Rys. 29 Powiększenie szczegółu przekroju elementu pomiarowego z rys. 27. Jeśli element pomiarowy napięciowego czujnika tlenu, o temperaturze roboczej, jest opływany przez spaliny pochodzące ze spalania mieszanki ubogiej, to pomiędzy elektrodami wewnętrzną 7 i zewnętrzną 2, pokrywających ceramikę specjalną 3, powstaje napięcie sygnału napięciowego czujnika tlenu (U_s) o wartości ok. 0,1V.



Rys. 30 Charakterystyka napięciowego czujnika tlenu, czyli zmiana wartości napięcia U_s jego sygnału, w zależności od współczynnika λ składu spalanej mieszanki. U_0 oznacza napięcie odniesienia.

Jego ilość jest mierzona przez porównanie ze stałą zawartością tlenu w powietrzu odniesienia. Sygnałem napięciowego czujnika tlenu jest napięcie U_s , pomiędzy elektrodami 2 i 7, mierzone woltomierzem 6. Jego wartość zależy od ilości tlenu równowagowego, czyli od składu spalanej mieszanki, co ilustrują rys. 28 i 29.

Charakterystykę napięciowego czujnika tlenu, czyli zależność wartości napięcia sygnału U_s od składu spalanej mieszanki, przedstawia rys. 30. Punktem szczególnym wykresu jest tzw. napięcie odniesienia U_0 .

Jest to wartość napięcia sygnału napięciowego czujnika tlenu, występująca wówczas, gdy spaliny omywające element pomiarowy pochodzą ze spalania mieszanki stechiometrycznej ($\lambda = 1,00$). Napięcie odniesienia ma wartość w zakresie od 400mV do 500mV - przyjmijmy 450mV.

Wartość napięcia odniesienia U_0 jest wykorzystywana przez program sterownika do interpretacji sygnału czujnika tlenu. Jeśli wartość napięcia sygnału U_s jest większa od wartości napięcia odniesienia, to program sterownika interpretuje, że spaliny opływające napięciowy czujnik tlenu, pochodzą ze spalania mieszanki bogatej. Jeśli wartość napięcia sygnału U_s jest mniejsza od wartości napięcia odniesienia, to program sterownika interpretuje, że spaliny opływające napięciowy czujnik tlenu, pochodzą ze spalania mieszanki ubogiej.

Sterownik, współpracujący z napięciowym czujnikiem tlenu, otrzymuje za jego pośrednictwem tylko jedną z dwóch informacji: spalona mieszanka była bogata lub uboga. Sterownik nie poznaje dokładnego składu spaloności mieszanki.

10. Układ regulacji składu mieszanki z jednym czujnikiem tlenu

Dla każdego warunków pracy silnika, charakteryzowanych parą wartości: prędkość obrotowa i obciążenie silnika, program sterownika wymaga zasilania silnika mieszanką o wymaganym składzie. Charakteryzuje ją współczynnik λ (λ_w) wymaganego składu mieszanki.

Dla uzyskania możliwie największej sprawności konwertera katalitycznego, w możliwie największej ilości warunków pracy silnika, program sterownika wymaga zasilania silnika mieszanką stechiometryczną, dlatego w większości pojazdów wartość współczynnika λ (λ_w) wymaganego składu mieszanki jest równa jeden (rys. 31a). Ze względów technicznych nie jest możliwe zasilanie silnika mieszanką o stałym, wymaganym składzie, ze względu na działanie wielu czynników, które wpływają na skład mieszanki.

Sterowniki silników wyposażonych w konwerter katalityczny (wszystkie od ok. 20 lat), posiadają układ regulacji składu mieszanki. Z jednego lub dwóch czujników tlenu w spalinach, układ regulacji otrzymuje informacje o składzie spalanej mieszanki. Dzięki tym informacjom, skład mieszanki zasilającej silnik, charakteryzowany wartością współczynnika λ (λ_r) rzeczywistego składu mieszanki, zmienia się w niewielkim zakresie (linia B1 wykresu na rys. 31b) w stosunku do wymaganego składu mieszanki (rys. 31a). Mówimy wówczas, że układ regulacji składu mieszanki pracuje w pętli zamkniętej. Jeśli układ regulacji otrzymuje sygnał z jednego lub dwóch czujników tlenu, ale ich nie wykorzystuje do regulacji składu mieszanki, to mówimy, że układ regulacji składu mieszanki pracuje w pętli otwartej.

Układ regulacji składu mieszanki pracuje w pętli zamkniętej, w następujących warunkach pracy silnika:

- na biegu jałowym;
- w zakresie stałych małych i średnich obciążeń (do ok. 3/4 skoku pedału gazu, mierząc od jego pozycji w stanie nienaciśniętym);
- podczas łagodnego przyspieszania.

Układ regulacji składu mieszanki silnika z systemem OBDII/EOBD, zaczyna pracę nie później niż 15 sekund od chwili uruchomienia silnika. Dla silników starszej konstrukcji, ten czas jest dłuższy.

Jeśli układ regulacji składu mieszanki pracuje w pętli zamkniętej, i warsztatowym analizatorem spalin (niezależnie od jego producenta) mierzymy wartość współczynnika λ składu spalanej mieszanki (wsp. λ_r , linia B1 wykresu na rys. 31a) ponieważ układ pomiarowy analizatora spalin za wolno reaguje na zmiany składu spalin. W konsekwencji warsztatowy analizator spalin uśrednia wartość współczynnika λ - mierzy wartość współczynnika λ (λ_{sr}) średniego składu mieszanki (linia B2 wykresu na rys. 31b).

10.1. Układ regulacji składu mieszanki z jednym napięciowym czujnikiem tlenu

Prześledźmy jak ten układ pracuje w warunkach ustalonych, w czterech charakterystycznych dla niego okresach pracy, oznaczonych od I do IV na rys. 31.

Okres I

Po ustaleniu się nowych warunków pracy silnika, początkowa wartość czasu wtrysku t_{w1} (pkt. D1 na rys. 31d) powoduje wtrysnięcie dawki paliwa, która tworzy mieszankę bogatą lub ubogą (powstanie mieszanki stechiometrycznej jest możliwe, ale mało prawdopodobne). W przykładzie na rys. 31c, jest to mieszanka uboga (pkt. C1 na rys. 31c). Sterownik otrzymuje informację o składzie spalanej

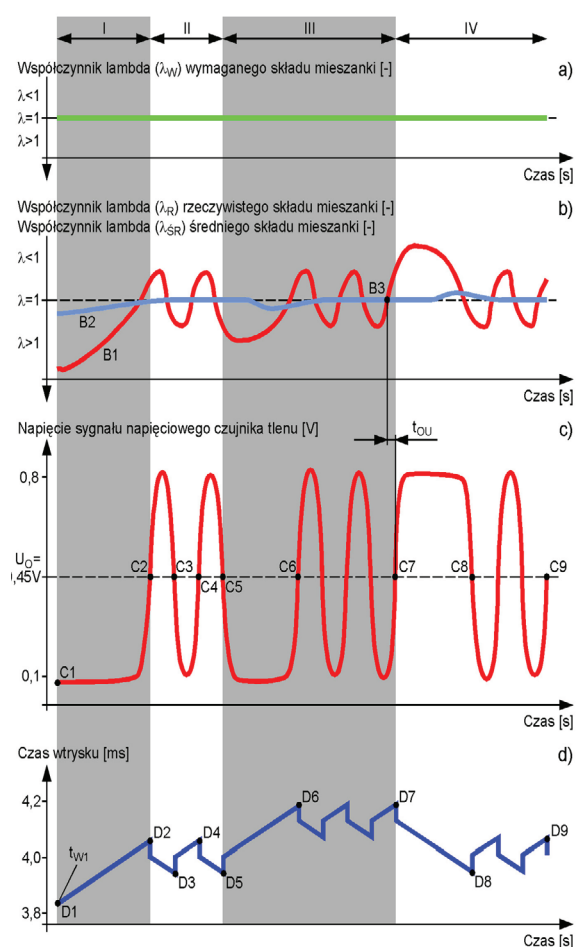
mieszanki od czujnika tlenu. Jego sygnał sterownik interpretuje zgodnie z zasadą zilustrowaną na rys. 32. Ponieważ początkowo powstała mieszanka uboga, więc sterownik wzbogaca mieszankę, zwiększając czas wtrysku (odcinek D1 - D2 na rys. 31d). Czas wtrysku wzrasta do chwili, gdy sterownik otrzyma od czujnika tlenu informację, że spalona mieszanka jest bogata (pkt. C2 na rys. 31c).

Okres II

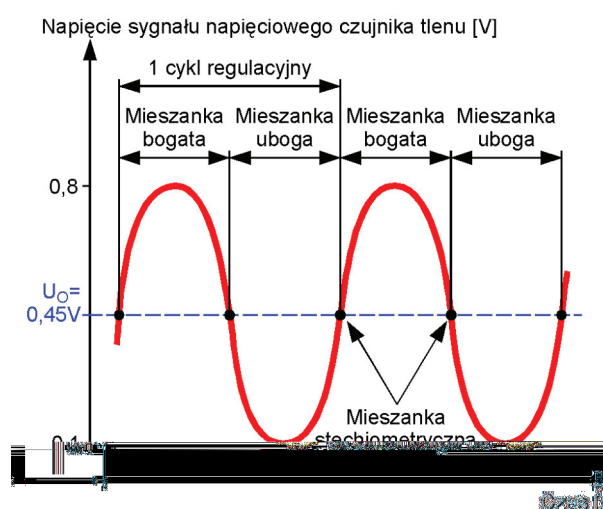
Informacja o spalaniu mieszanki bogatej, rozpoczyna cykl regulacji o pożądanym przebiegu zmian składu mieszanki - szybkie, w niewielkim zakresie w stosunku do wymaganego składu mieszanki. Konwerter katalityczny pracuje wówczas z możliwie najwyższą sprawnością. Jeden cykl regulacji składu mieszanki (odcinek C2 - C4 na rys. 31c i odcinek D2 - D4 na rys. 31d) jest opisany na rys. 33.

Okres III

Zmiana składu mieszanki z bogatej na ubogą (punkt C5 na rys. 31c) powoduje, że mieszanka jest ponownie wzbogacana, przez zwiększenie czasu wtrysku (od pkt. D5 na rys. 31d). Oczekiwana zmiana składu mieszanki, z ubogiej na bogatą (punkt C6 na rys. 31c), nastąpiła jednak dopiero po zwiększeniu czasu wtrysku o wartość większą niż w poprzednim cyklu regulacji (odcinek D5 - D6 na rys. 31d). Mimo, że nie zmieniły się warunki pracy silnika, pożądaný przebieg zmian składu mieszanki następuje przy zmianach czasu wtrysku w wyższym zakresie wartości (odcinek D6 - D7 na rys. 31d), w porównaniu z cyklami regulacyjnymi w okresie II (odcinek D2 - D5 na rys. 31d). Jest to spowodowane działaniem jakiegoś czynnika, wpływającego na skład powstającej mieszanki. Układ regulacji nie wie jaki to czynnik, ale stwierdza jego działanie.



Rys. 31 Wykresy na rysunkach od a do d, ilustrujące pracę układu regulacji składu mieszanki, w czterech charakterystycznych okresach pracy, oznaczonych od I do IV, w ustalonych warunkach pracy silnika. Oznaczenia na rysunkach: B1 - wykres współczynnika lambda (λ_R) rzeczywistego składu spalanej w silniku mieszanki; B2 - wykres współczynnika lambda (λ_{SR}) średniego składu spalanej w silniku mieszanki; B3 - punkt, w którym chwilowa wartość współczynnika lambda (λ_R) rzeczywistego składu mieszanki jest równa 1,00, co oznacza, że chwilowo silnik spala mieszankę stechiometryczną; C1 do C9 - charakterystyczne punkty wykresu napięcia sygnału napięciowego czujnika tlenu; D1 do D9 - charakterystyczne punkty wykresu czasu wtrysku; t_{w1} - pierwsza wartość czasu wtrysku, od której układ regulacji rozpoczyna pracę, po ustaleniu się nowych warunków pracy silnika; t_{ou} - czas opóźnienia zmiany wartości sygnału czujnika tlenu, informującego o zmianie składu spalanej mieszanki w silniku z ubogiego na bogaty.



Rys. 32 Ilustracja zasady interpretacji przez sterownik wartości sygnału napięciowego czujnika tlenu. Wartość napięcia czujnika tlenu $> 0,45V$ - czujnik tlenu opływa spaliną pochodzącą ze spalania mieszanki bogatej. Wartość napięcia czujnika tlenu $< 0,45V$ - czujnik tlenu opływa spaliną pochodzącą ze spalania mieszanki ubogiej. Wartość napięcia czujnika tlenu $= 0,45V$ - czujnik tlenu opływa spaliną pochodzącą ze spalania mieszanki stechiometrycznej.

Na skład powstającej mieszanki ponownie wpłynął jakiś czynnik, który zmusił układ regulacji składu mieszanki do poszukiwania nowego zakresu zmian wartości czasu wtrysku (odcinek C7 - C8 na rys. 31c i odcinek D7 - D8 na rys. 31d). Nowy zakres zmian czasu wtrysku, leży w niższym zakresie wartości w porównaniu z cyklami regulacyjnymi w okresie III (odcinek D8 - D9 na rys. 31d).

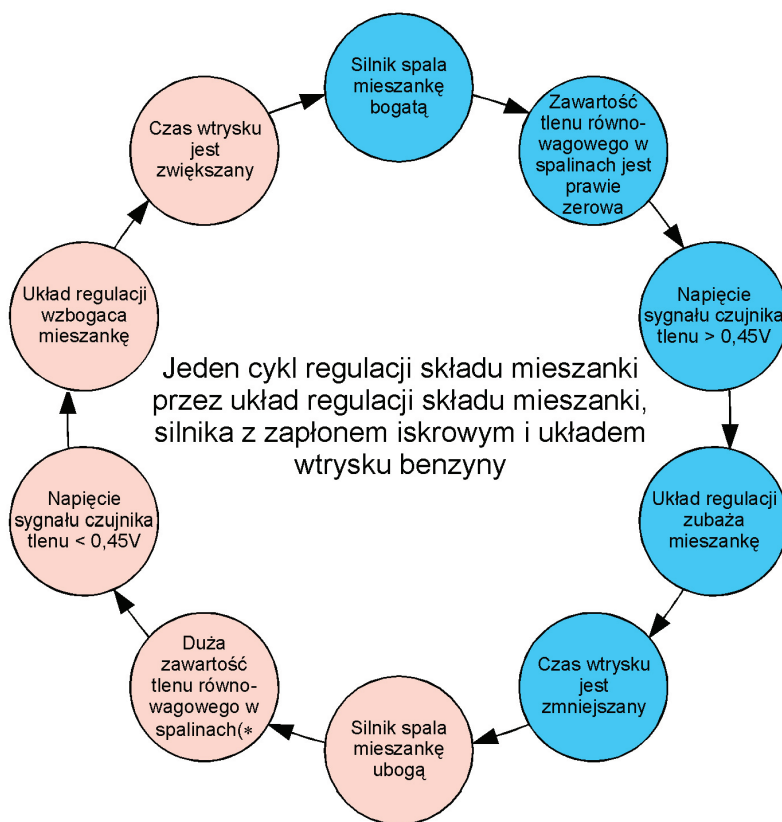
Przebieg pracy układu regulacji składu mieszanek:

- w okresie I - typowy dla każdorazowego ustalania się nowych warunków pracy silnika;
- w okresie II - najlepszy ze względu na sprawność konwertera katalitycznego;
- w okresie III i IV - charakterystyczny, po wpływie jakiś czynników zmieniających skład mieszanki zasilającej silnik.

Napięciowy czujnik tlenu informuje sterownik tylko o tym, czy spalona mieszanka była bogata czy uboga. Szerokopasmowy czujnik tlenu informuje sterownik o składzie spalanej mieszanki. Pozwala to:

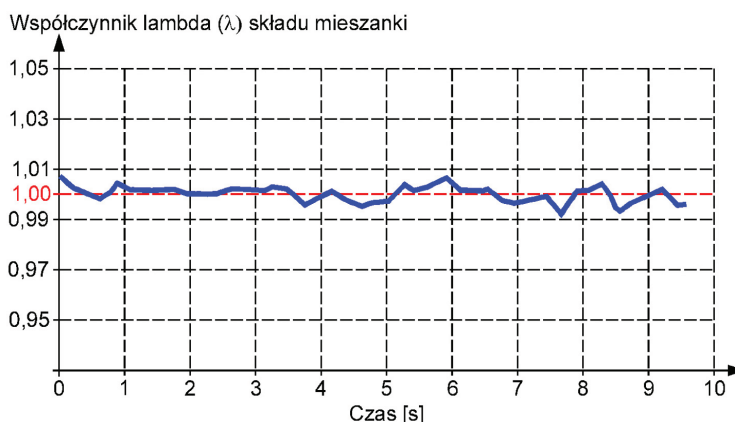
- zmniejszyć zakres zmian składu spalanej mieszanki, w stosunku do składu wymaganego, podczas pracy układu regulacji;
- regulować skład mieszanki w celu uzyskania innych niż stechiometryczny wymaganych składów mieszanek.

Układ regulacji składu mieszanki z napędowym czujnikiem tlenu, umożliwia zasilanie silnika mieszanką stechiometryczną tylko przez bardzo krótkie chwile (rys. 32). Analizując wykres współczynnika lambda składu spalanej mieszanki (rys. 34), regulowanego z wykorzystaniem szerokopasmowego czujnika tlenu, widać, że jeśli na skład mieszanki nie wpływają na żadne czynniki zmieniające go, to przez krótkie okresy czasu skład mieszanki zasilającej silnika jest równy składowi wymaganemu (stechiometrycznemu na rys. 34). Dzięki temu konwerter katalityczny skuteczniej oczyszcza spaliny.



* - Określenie "duża" oznacza, że w spalinach powstałych po spaleniu mieszanki ubogiej zawartość tlenu równowagowego jest wielokrotnie większa niż w spalinach powstałych po spaleniu mieszanki bogatej.

Rys. 33



Rys. 34 Wykres wartości współczynnika lambda (λ) składu mieszkanki, podczas pracy układu regulacji składu mieszkanki, z szerokopasmowym czujnikiem tlenu, w pętli zamkniętej.

11. Zużycie lub uszkodzenia napięciowego czujnika tlenu a praca układu regulacji składu mieszanki

Ze strumienia spalin opływającego ceramikę specjalną (stały elektrolit), przenikają do niej takie substancje jak: ołów, siarka, bar, chlor, krzem, wapń, magnez, fosfor, związki cynku, tlenki żelaza i popiół z oleju silnikowego. Pochodzą z paliwa, oleju silnikowego oraz są produktami zużycia ściernego i korozyjnego silnika. Powodują zmiany charakterystyki napięciowego czujnika tlenu, przedstawione na rys. 35. Jeśli silnik spala paliwo o niskiej jakości, olej silnikowy ma niską jakość lub silnik spala nadmierne ilości oleju silnikowego, procesy starzenia czujnika tlenu zachodzą szybciej - następuje jego uszkodzenie.

Typowe dla napięciowych czujników tlenu, występujące przy normalnym eksploatacyjnym zużyciu, jest przesunięcie charakterystyki czujnika w kierunku mieszanek ubogich (linia 2, rys. 35). Zakres zmian regulowanego składu mieszanki oraz średni skład mieszanki (mierzymy go analizatorem spalin) przesuwają się wówczas w kierunku mieszanek ubogich (linia C, rys. 38). Obniża to zdolność trójfunkcyjnego konwertera katalitycznego do usuwania ze spalin tlenków azotu (patrz linia N_{ox} (zkk), rys. 23).

Charakterystyka napięciowego czujnika tlenu może również przesunąć się w kierunku mieszanek bogatych (linia 3, rys. 35). Zakres zmian regulowanego składu mieszanki oraz średni skład mieszanki, przesuwają się wówczas w kierunku mieszanek bogatych (linia D, rys. 38). Obniża to zdolność trójfunkcyjnego konwertera katalitycznego do usuwania ze spalin tlenku węgla i węglowodorów (patrz linie CO (zkk) i HC (zkk), rys. 23).

Układ regulacji składu mieszanki z jednym czujnikiem tlenu w układzie wylotowym, nie jest w stanie wykryć przesunięcia jego charakterystyki.

Starzenie się napięciowego czujnika tlenu, oprócz zmiany charakterystyki, powoduje zmianę jego zachowania się (odpowiedzi), na zmiany składu mieszanki (rys. 36a), z której pochodzą spaliny opływające czujnik tlenu - z uboższego na bogaty lub z bogatego na ubogi. Zawsze, również gdy czujnik tlenu jest nowy, jego sygnał z opóźnieniem informuje o tych zmianach. Miarą opóźnienia są (rys. 36b, c i d):

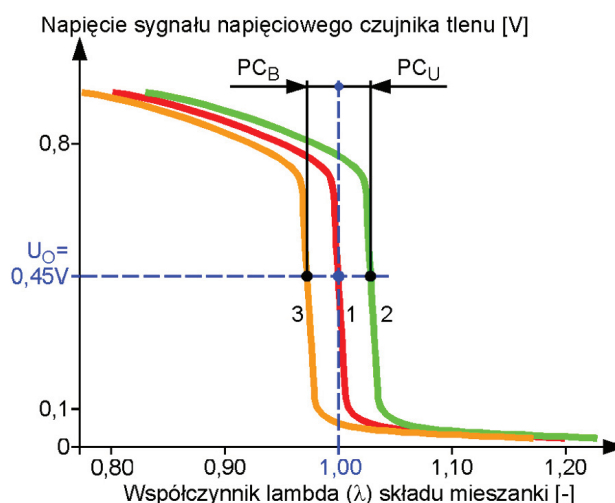
- t_{OU} - czas opóźnienia zmiany wartości sygnału czujnika tlenu, informującego o zmianie składu spalanej mieszanki z uboższego na bogaty, mierzony od chwili zmiany składu spalanej mieszanki, do chwili, gdy wartość rosnącego napięcia sygnału czujnika tlenu osiągnie wartość większą od 0,45V (patrz rys. 32);

- t_{OB} - czas opóźnienia zmiany wartości sygnału czujnika tlenu, informującego o zmianie składu spalanej mieszanki z bogatej na ubogą, mierzony od chwili zmiany składu spalanej mieszanki, do chwili, gdy wartość malejącego napięcia sygnału czujnika tlenu osiągnie wartość mniejszą od 0,45V.

Czas ten jest mierzony na specjalnych stoiskach do testów czujników tlenu.

Dla nowego czujnika tlenu (rys. 36b): czasy t_{OU} i t_{OB} powinny być prawie jednakowe (w dobrych jakościowo czujnikach tlenu) a zmiany wartości napięcia szybkie. Przebieg sygnału nowego czujnika tlenu, pracującego w układzie regulacji składu mieszanki, przedstawia wykres na rys. 37a. Średni skład regulowanej mieszanki (linia B, rys. 38; mierzymy go analizatorem spalin) jest bliski składowi wymaganemu (linia A, rys. 38).

Starzeniu czujnika tlenu towarzyszy obniżanie się szybkości wzrostu lub spadku wartości sygnału czujnika tlenu (rys. 36c i d). Zwiększają się również wartości czasów t_{OU} i t_{OB} . Więcej czasu upływa więc od chwili zmiany składu mieszanki do chwili zmiany wartości sygnału czujnika tlenu. Układ regulacji składu mieszanki później dowiaduje się o tych zmianach.



Rys. 35 Przesunięcia charakterystyki napięciowego czujnika tlenu, w stosunku do charakterystyki nowego czujnika tlenu (linia 1), spowodowane wpływem substancji chemicznych znajdujących się w spalinach, na ceramikę specjalną (stały elektrolit). Przesunięcie charakterystyki czujnika tlenu w kierunku mieszanek ubogich (linia 2) powoduje, że wartość współczynnika lambda (λ_{SR}) średniego składu mieszanki, regulowanego przez układ regulacji składu mieszanki, zwiększa się o wartość PC_U . Przesunięcie charakterystyki czujnika tlenu w kierunku mieszanek bogatych (linia 3) powoduje, że wartość współczynnika lambda (λ_{SR}) średniego składu mieszanki, zmniejsza się o wartość PC_B .

Jak wspominałem typowemu procesowi zużycia czujników tlenu towarzyszy ubożenie składu regulowanej mieszanki. Aby zmniejszyć negatywne następstwa procesu starzenia, nowe czujniki tlenu (informacja z firm Bosch i NGK/NTK) cechują się tym, że wartość współczynnika λ_{SR} średniego składu mieszanki, regulowanego z wykorzystaniem sygnału nowego czujnika tlenu, wynosi 0,99.

Wiadomości	Dodatek techniczny	11
-------------------	--------------------	----

12. Obliczanie i adaptacja czasu wtrysku

Zobaczmy, jak program sterownika silnika, z systemem OBDII/EOBD, oblicza czas wtrysku paliwa, gdy układ regulacji składu mieszanki pracuje w pętli zamkniętej.

1. Dla występujących w danej chwili warunków pracy silnika, charakteryzowanych parą wartości: prędkość obrotowa i obciążenie silnika, program odczytuje z pamięci ROM sterownika tzw. bazyowy czas wtrysku.

2. Korekcja 1 czasu wtrysku. Uwzględnia wpływ na skład mieszanki paliwowo-powietrznej takich wielkości jak: temperatura silnika, temperatura powietrza dolotowego, napięcie w instalacji elektrycznej i szybkość otwierania lub zamykania przepustnicy. Wartości tych wielkości mierzy sterownik.

3. Korekcja 2 czasu wtrysku. Uwzględnia sumaryczny wpływ na skład mieszanki paliwowo-powietrznej tych wszystkich czynników lub wielkości, których indywidualny wpływ na skład mieszanki paliwowo-powietrznej nie jest możliwy do zmierzenia lub stwierdzenia. Przykładowo są to: różnice w składzie lub jakości paliwa, zmiany oporów przepływu przez filtr powietrza lub paliwa spowodowane zanieczyszczeniami i zużycie części silnika. Jej wartość określa parametr LONG FT X (X oznacza numer bloku cylindrów), który nazywamy „długookresową korekcją dawki paliwa dla bloku cylindrów nr X silnika”. Dla diagnostów ważne jest to, że na wartość tej korekcji, a więc i wartość parametru LONG FT X, wpływa też każde uszkodzenie silnika lub jego układu sterowania, które zmienia skład mieszanki paliwowo-powietrznej. Są to zarówno uszkodzenia, które sterownik umie wykryć i poinformować o nich kodem usterki, jak i uszkodzenia, których sterownik nie umie wykryć.

4. Korekcja 3 czasu wtrysku. W warunkach pracy silnika, w których program sterownika wymaga pracy konwertera katalitycznego z najwyższą sprawnością, układ regulacji składu mieszanki pracuje w pętli zamkniętej - patrz rozdział 10. O chwilowej zmianie czasu wtrysku, która jest wynikiem pracy układu regulacji składu mieszanki, informuje parametr SHRT FT X (X oznacza numer bloku cylindrów), który nazywamy „chwilową korekcją dawki paliwa dla bloku cylindrów nr X silnika”.

Wartości parametrów LONG FT X i SHRT FT X można odczytać czynnikiem OBD z programu sterownika. Są one podawane w procentach. Wartość dodatnia oznacza wydłużenie czasu wtrysku a wartość ujemna oznacza skrócenie czasu wtrysku. W niektórych samochodach, np. koncernu VW, interpretacja wartości parametru SHRT FT X jest odwrotna od podanej.

12.1 Adaptacja czasu wtrysku

W ustalonych warunkach pracy silnika, układ regulacji składu mieszanki pracujący w pętli zamkniętej, powinien zmieniać wartość czasu wtrysku, obliczoną przez program sterownika (z uwzględnieniem korekcji 1 i 2), w zakresie do $\pm 3\%$. Wartość parametru SHRT FT X, która o tych zmianach informuje, powinna się więc również zmieniać w zakresie do $\pm 3\%$ - dopuszczalne są tylko chwilowe przekroczenia tego zakresu.

Jeśli określonych warunkach pracy silnika, w ocenie sterownika, powyższy warunek nie jest spełniony wskutek działania czynników o charakterze trwałym (wyjaśnię to na przykładzie), oraz:

- temperatura płynu w układzie chłodzenia silnika przekroczyła 80°C ;
- temperatura powietrza w układzie dolotowym silnika jest niższa niż 90°C (warunek podawany przez firmę VW);

program sterownika wyznacza nową wartość parametru LONG FT X (długookresowa korekcja dawki paliwa) i zapamiętuje ją w pamięci RAM sterownika silnika. Dzięki temu wartość czasu wtrysku obliczana przez program sterownika będzie zmieniana przez układ regulacji składu mieszanki w zakresie do $\pm 3\%$ - dopuszczalne są tylko chwilowe przekroczenia tego zakresu. Wyznaczona wartość parametru LONG FT X, jest każdorazowo zastępowana nową wartością, gdy wartość parametru SHRT FT X przekroczy zakres $\pm 3\%$ i spełnione zostaną warunki do wyznaczenia nowej wartości parametru LONG FT X.

Warunki pracy silnika, charakteryzowane przez prędkość obrotową i obciążenie silnika, są podzielone na przedziały. Do każdego przedziału jest przypisana jedna wartość parametru LONG FT X, która jest wykorzystywana do obliczania czasu wtrysku dla wszystkich warunków pracy silnika z tego przedziału.

Wartości parametru LONG FT X są wyznaczane tylko dla tych warunków pracy silnika, w których układ regulacji składu mieszanki może pracować w pętli zamkniętej. Są one wykorzystywane do obliczania czasu wtrysku również wówczas, gdy układ regulacji składu mieszanki nie pracuje wskutek uszkodzenia.

Dla tych warunków pracy silnika, w których układ regulacji składu mieszanki pracuje zawsze w pętli otwartej (np. warunki dużego obciążenia silnika), wartość parametru LONG FT X jest szacowana na podstawie wartości parametrów LONG FT X wyznaczonych dla tych warunków pracy silnika, w których układ regulacji składu mieszanki pracuje w pętli zamkniętej.

Opisana procedura nazywa się adaptacją czasu wtrysku. Dopasowuje wartości czasów wtrysku do aktualnych potrzeb danego silnika, tak aby był on zasilany mieszanką o składzie możliwie najbardziej zbliżonym do wymaganego.

Prześledźmy na przykładach - rys. 39, 40 i 41, jak w tych samych ustalonych warunkach pracy silnika (te same wartości prędkości obrotowej i obciążenia) pracuje układ regulacji składu mieszanki, zmieniają się wartości



Rysunek 39. Przyjmijmy, że LONG FT X = 0 (rys. 39d), co oznacza, że silnik jest nowy lub wcześniej odłączono zasilanie od sterownika silnika lub wartości parametru LONG FT X skasowano z pamięci RAM sterownika, poleceniem z testera diagnostycznego.

Czas poszukiwania t_{p1} zakresu zmian czasu wttrysku, który zapewnia pożądaną przebieg cyklu regulacji (odcinek B2 - B3, rys. 39b), powinien być jak najkrótszy, ponieważ w tym okresie trójfunkcyjny konwerter katalityczny pracuje z obniżoną sprawnością.

- temperatura silnika i powietrza dolotowego umożliwiają wykorzystanie funkcji adaptacji czasu wtrysku;
- przekroczenie zakresu występuje podczas wykonywania przez silnik określonej w programie sterownika ilość cykli pracy to program sterownika uznaje, że zwiększenie zakresu zmian czasu wtrysku jest powodowane czynnikami o charakterze trwałym, co powoduje zmianę wartości parametru LONG FT X (Z1, rys. 39d) - z wartości 0 na D1.

Rysunek 40. Gdy silnik po raz drugi rozpoczął pracę w tych samych warunkach pracy, czas wtrysku o wartości t_{w2} (B4, rys. 40b) spowodował, że wtrysnięta dawka paliwa utworzyła mieszaninę bogatą (zakładam to). Po upływie czasu poszukiwania t_{p2} , powstała mieszanina uboga (A5, rys. 40a). Rozpoczyna ona cykl regulacji o pożądanym przebiegu (odcinek A5 - A6, rys. 40a)



Proszę zauważyć, że czas poszukiwania t_{p2} był krótszy od t_{p1} . Wartość czasu wtrysku t_{w2} była obliczona przez program sterownika z wykorzystaniem wyznaczonej uprzednio wartości parametru LONG FT X = D1, co skróciło czas poszukiwania zakresu zmian czasu wtrysku, który zapewnia pożądany przebieg cyklu regulacji (odcinek B5 - B6, rys. 40b).

Ponieważ zakres zmian wartości parametru SHRT FT X mieścił się w zakresie $\pm 3\%$ (odcinek C3, rys. 40c), więc program sterownika nie zmienił wartości parametru LONG FT X (rys. 40d). Program nie zmienia również wartości parametru LONG FT X, jeśli zakres zmian wartości parametru SHRT FT X chwilowo przekroczy zakres $\pm 3\%$ (bez ilustracji), ale podczas tego przekroczenia silnik nie wykona określonej w programie ilości cykli pracy silnika.

Rysunek 41. Silnik po raz kolejny pracuje w tych samych warunkach. Rozpoczął pracę przy czasie wtrysku t_{w3} (B7, rys. 41b), obliczonym przy wykorzystaniu wartości parametru LONG FT X = D1 (rys. 41d). Układ regulacji składu mieszanki znalazł zakres zmian czasu wtrysku, który zapewnia pożądany przebieg cyklu regulacji składu mieszanki (odcinek B8 - B9, rys. 41b).

Z nieznanых powodów nastąpiło wzbogacenie mieszanki, o którym sterownik dowiedział się z przebiegu napięcia czujnika tlenu (odcinek A9 - A10, rys. 41a). Układ regulacji składu mieszanki zubożył więc mieszankę przez skrócenie czasu wtrysku, aby ponownie znaleźć nowy zakres zmian czasu wtrysku, który zapewni pożądany przebieg cyklu regulacji składu mieszanki (odcinek B10 - B11, rys. 41b). Zmiana zakresu zmian czasu wtrysku spowodowała, że zakres zmian wartości parametru SHRT FT X przekroczył zakres $\pm 3\%$ (odcinek C4, rys. 41c). Ponieważ sterownik uznał, że to przekroczenie było spowodowane czynnikami o charakterze trwałym, dlatego program sterownika zmniejszył wartość parametr LONG FT X od wartości D1 do D2, co spowodowało, że zakres zmian wartości parametru SHRT FT X powrócił do zakresu zmian w zakresie do $\pm 3\%$ (odcinek C5, rys. 41c).

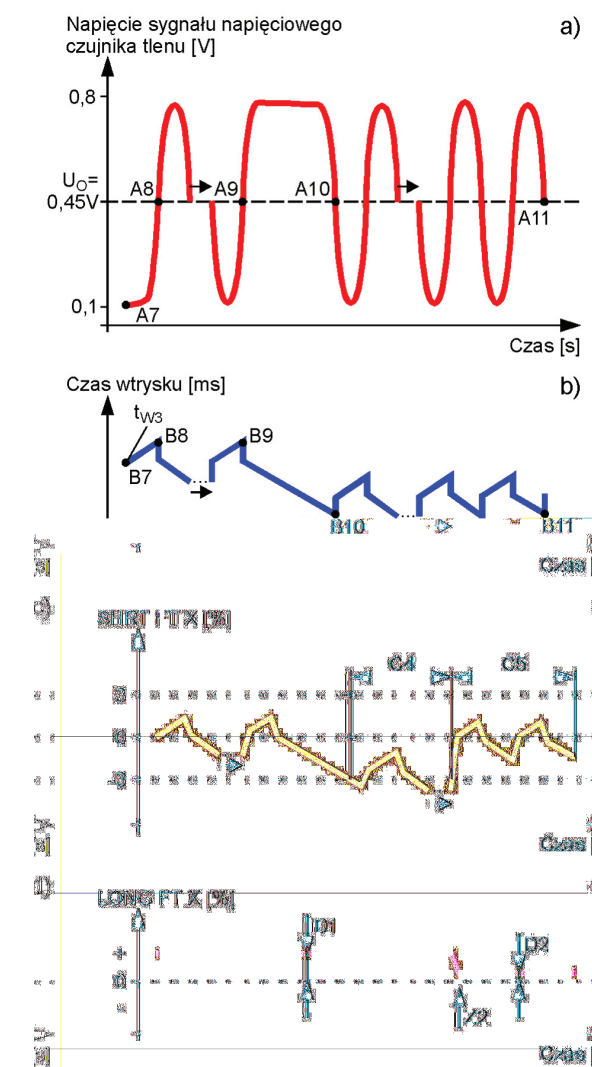
13. Diagnostyka silnika ZI i jego układów, na podstawie oceny składu spalin

Jak ją wykonać, przedstawię na przykładzie silnika z systemem OBDII/EOBD - ilustruje to rys. 42. Tak samo wykonuje się ją w każdym silniku z pojedynczym czujnikiem tlenu oraz trójfunkcyjnym konwerterem katalitycznym w układzie wylotowym. Inne są tylko nazwy parametrów oraz to, jak podawane są ich wartości.

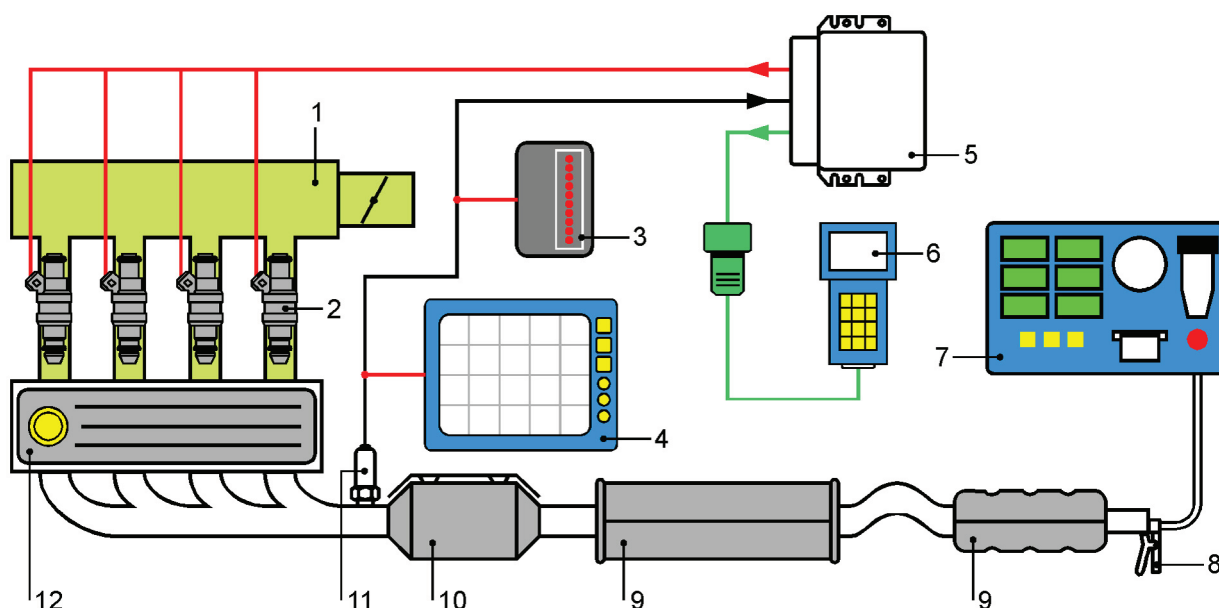
Wbrew przewidywaniom części fachowców, system OBDII/EOBD nie jest w stanie zastąpić analizatora spalin. Wprawdzie umie on ocenić stopień zużycia konwertera katalitycznego, ale nie zawsze prawidłowo określa przyczyny uszkodzeń (jak i każdy poprzedni system diagnostyczny). Nie mierzy on bowiem składu spalin, a jedynie szacuje go w oparciu o wartości wielkości mierzonych przez sterownik. Nie łatwe zadanie czeka jednak i diagnostę.

Wykonywaną w serwisie diagnostykę silnika, tylko na podstawie składu spalin mierzonego analizatorem spalin (7, rys. 42), utrudniają:

- sterownik silnika 5 - jego priorytetem jest uzyskanie i utrzymanie pożądanego przebiegu zmian składu mieszanki (rozdz. 10, rys. 31) dla zapewnienia możliwie maksymalnej sprawności konwertera katalitycznego, niezależnie od tego czy występujące uszkodzenie zostało wykryte przez system diagnostyczny sterownika (wówczas o nim wiemy) czy nie; w tym celu



Rys. 41



Rys. 42 Urządzenia niezbędne do oceny składu emitowanych spalin i ich przyłączenie do silnika i jego układu sterowania. Elementy na rysunku: 1 - kolektor dolotowy silnika; 2 - wtryskiwacz; 3 - tester czujnika tlenu; 4 - oscyloskop; 5 - sterownik silnika; 6 - tester diagnostyczny lub czytnik OBD; 7 - wieloskładnikowy analizator spalin; 8 - sonda poboru spalin; 9 - tłumiki układu wylotowego; 10 - trójfunkcyjny konwerter katalityczny; 11 - regulacyjny czujnik tlenu; 12 - silnik. Na rysunku nie pokazałem czujnika tlenu za konwerterem katalitycznym, występującego w układach wylotowych silników z systemem OBDII/EOBD, gdyż jego sygnał (z jednym wyjątkiem) nie jest przeznaczony do interpretacji przez diagnostę - jest to sygnał dla systemu OBDII/EOBD sterownika.

sterownik może zmieniać czas wtrysku w zakresie nawet do $\pm 30\%$;

- konwerter katalityczny - zmienia skład spalin przez niego przepływających, w stopniu zależnym od temperatury i stopnia zużycia; ponieważ temperatura i stopień zużycia konwertera katalitycznego nie znamy, więc nie można określić składu spalin opuszczających silnik (przed konwerterem katalitycznym) na podstawie pomiaru spalin za konwerterem katalitycznym.

Z powyższych przyczyn wykrycie wielu uszkodzeń silnika i jego układów, tylko na podstawie analizy składu spalin opuszczających układ wylotowy silnika (7 i 8, rys. 42) jest prawie niemożliwe. Proponuję użyć dodatkowych urządzeń diagnostycznych (3, 4 lub 6, rys. 42).

Sugeruję rozpocząć od kontroli układu regulacji składu mieszanki, przez pomiar sygnału czujnika tlenu 11 wykonywanego testerem czujnika tlenu 3 lub oscyloskopem 4. Jeśli układ regulacji składu mieszanki pracuje, należy:

- ocenić przebieg sygnału czujnika tlenu;
- zmierzyć i ocenić średni skład mieszanki regulowanej przez układ regulacji składu mieszanki, czyli zmierzyć analizatorem spalin współczynnik lambda składu spalin;

Oba pomiary służą do oceny stopnia zużycia czujnika tlenu. Można ich nie wykonywać w systemach OBDII/EOBD, ale wówczas zalecam „zmusić” system OBDII/EOBD, aby on na nasze życzenie przetestował czujnik tlenu:

- podczas serwisowego testu drogowego;
- w samochodach koncernu VAG, z wykorzystaniem procedury testera diagnostycznego o nazwie „Kurztrip”, nazywanej procedurą uzyskiwania „kodów gotowości” (Readinesscode).

W układach regulacji z szerokopasmowym czujnikiem tlenu, jeśli nie znamy dokładnie budowy i możliwości diagnostyki danego typu szerokopasmowego czujnika tlenu, to należy to zrobić odczytując testerem diagnostycznym 6, sygnał tego czujnika tlenu, z programu sterownika 5. Jeśli układ regulacji składu mieszanki nie pracuje, należy rozstrzygnąć, czy przyczyną jest uszkodzony czujnik tlenu czy inne uszkodzenie.

Przy poszukiwaniu przyczyny uszkodzenia układu regulacji składu mieszanki, silnika lub innych układów, pomocne są (rys. 42):

- odczyt kodów usterek oraz parametrów zamrożonych z pamięci sterownika (w systemie OBDII/EOBD);
- odczyt za sterownika wartości parametrów bieżących, ze szczególnym uwzględnieniem wartości parametrów SHRT FT X i LONG FT X
- pomiar składu spalin.

Wartości parametrów SHRT FT X i LONG FT X są pomocne w wyszukiwaniu tych uszkodzeń, które zmieniają skład mieszanki lub spalin, niezależnie od tego, czy sterownik je wykrył czy nie. W tej analizie pomocne będą informacje z tabeli 3. Można je oczywiście wykorzystywać również wówczas, gdy nie posiadamy analizatora spalin. Przy ocenie składu spalin, pomocne będą informacje z tabeli 4.

Jeśli celem analizy spalin jest ocena stopnia zużycia konwertera katalitycznego, to:

- silnik i jego układy powinny być sprawne;
- układ regulacji składu mieszanki musi pracować prawidłowo;
- wartość parametru SHRT FT X powinna się zmieniać w zakresie $\pm 3\%$ z dopuszczalnymi chwilowymi przekroczeniami tego zakresu, do 7% lub -7% (patrz też uwaga 4 pod tabelą 3).

Interpretacja wartości parametrów SHRT FT X i LONG FT X, odczytywanych ze sterowników silników z systemem OBDII/EOBD

TABELA 3

Lp.	Wartości parametru SHRT FT X ^{1,3}	Wartości parametru LONG FT X ²	Interpretacja wartości parametrów
1.	Zmiany w zakresie do $\pm 3\%$, z dopuszczalnymi chwilowymi przekroczeniami tego zakresu, do 7% lub -7% ⁴	W zakresie $\pm 10\%$	- Najprawdopodobniej silnik i jego układy są sprawne. - Mogą występować uszkodzenia, które system OBDII/EOBD wykrył⁵, jak i takie, których nie miał możliwości wykryć⁶ lub nie umiał wykryć, ale które nie powodują zmian składu mieszanki.
2.	Zmiany w zakresie do $\pm 3\%$, z chwilowymi przekroczeniami tego zakresu, ponad 7% lub poniżej -7% ⁴	W zakresie $\pm 10\%$	- Nie jest to sytuacja prawidłowa - wskazane sprawdzenie czujników obciążenia, np. masowego przepływomierza powietrza lub czujnika ciśnienia absolutnego w kolektorze dolotowym. - Może występować przy zasilaniu silnika gazem LPG lub CNG w wyniku niedopasowania układu zasilania gazem lub programu jego sterownika. - Mogą występować uszkodzenia, które system OBDII/EOBD wykrył⁵, jak i takie, których nie miał możliwości wykryć⁶ lub nie umiał wykryć, które powodują zmiany składu mieszanki.
3.	Zmiany w zakresie do $\pm 3\%$: - z dopuszczalnymi chwilowymi przekroczeniami tego zakresu, do 7% lub -7%⁴; - z chwilowymi przekroczeniami tego zakresu, ponad 7% lub poniżej -7%⁴. lub brak cyklicznych zmian wartości.	W zakresie od 10 do 25% lub od -10 do -25%.	- Wskazane sprawdzenie: sprawności silnika oraz sprawności i szczelności jego układów. - Mogą występować uszkodzenia, które system OBDII/EOBD wykrył⁵, jak i takie, których nie miał możliwości wykryć⁶ lub nie umiał wykryć, które powodują zmiany składu mieszanki.
		Ponad 25% lub poniżej -25%.	- Konieczne sprawdzenie: sprawności silnika oraz sprawności i szczelności jego układów. - Mogą występować uszkodzenia, które system OBDII/EOBD wykrył⁵, jak i takie, których nie miał możliwości wykryć⁶ lub nie umiał wykryć, które powodują zmiany składu mieszanki. - Jeśli w pamięci sterownika został zarejestrowany jeden z kodów usterek: P0170, P0171, P0172, P0173, P0174 lub P0175, to oznacza, że układ regulacji składu mieszanki nie umiał uzyskać cyklu regulacji o pożądanym przebiegu zmian składu mieszanki (patrz rozdz. 10, rys. 33), ale sterownik nie umiał znaleźć uszkodzenia, które to spowodowało - to zadanie dla diagnosty.
4.	Brak cyklicznych zmian wartości.	Niezależnie od wartości	- Konieczna kontrola, czy układ regulacji składu mieszanki pracuje w pętli zamkniętej - jeśli nie pracuje, należy znaleźć przyczynę. - Mogą występować uszkodzenia, które system OBDII/EOBD wykrył⁵, jak i takie, których nie miał możliwości wykryć⁶ lub nie umiał wykryć.

Uwagi:

1 Chwilowa korekcja dawki paliwa dla bloku cylindrów nr X silnika.

2 Długookresowa korekcja dawki paliwa dla bloku cylindrów nr X silnika.

3 W warunkach pracy silnika, w których układ regulacji składu mieszanki pracuje w pętli zamkniętej, wartość parametru SHRT FT X musi się cyklicznie zmieniać (wzrastać, maleć, wzrastać itd.).

4 W niektórych samochodach, prawidłowy jest zakres zmian wartości parametru SHRT FT X do $\pm 5\%$. Dopuszczalne są chwilowe przekroczenia tego zakresu, do 10% lub do -10%.

5 System OBDII/EOBD informuje o wykrytych uszkodzeniach kodami usterek.

6 Oznacza to, że system OBDII/EOBD nie mógł wykonać testów uszkodzonych układów lub ich elementów (tzw. monitorów), bo nie było ku temu warunków, lub te testy były zawieszane wskutek występowania innych uszkodzeń lub dopuszczonego normą wyłączenia testów (monitorów).

Interpretacja składu spalin silnika ZI, mierzonego warsztatowym analizatorem spalin^{1,2,3}

TABELA 4

Lp.	Opis stanu technicznego silnika i jego układów lub ich uszkodzenia	λ [-]	HC [ppm]	CO [% vol]	O ₂ [% vol]	CO ₂ [% vol]
1	Silnik sprawny, czujnik tlenu i konwerter katalityczny nowy lub o niewielkim zużyciu	0,98-1,02	0-30	0-0,30	0-0,20	14,8-16,0
2	Konwerter katalityczny o podwyższonej sprawności	0,98-1,02	↓↓	↓↓	↓↓	↑↑
3	Konwerter katalityczny o obniżonej sprawności	0,98-1,02	↑↑	↑↑	↑↑	↓↓
4	Konwerter katalityczny: - o za niskiej temperaturze; - pokryty osadami.	0,98-1,02	↑	↑	↑	↓
5	Silnik jest zasilany mieszanką bogatą	<0,98	↑	↑↑	↓	↓
6	Silnik jest zasilany mieszanką ubogą	>1,02	↓	↓	↑↑	↓
7	- Jeden lub więcej wtryskiwaczy benzyny zanieczyszczone - wtryskują mniej paliwa. - Jeden z wtryskiwaczy nie wtryskuje paliwa.	0,98-1,02	↑	↑	↑	↓
		>1,02 - układ regulacji składu mieszanki nie pracuje	↓	↓	↑↑	↓
8	- Niepełny proces spalania w jednej z komór spalania np. wskutek jej nieszczelności. „Słaba” iskra na świecy zapłonowej lub przeskok iskry w niewłaściwym miejscu świecy zapłonowej lub jej brak - Nieszczelność układu wylotowego pomiędzy silnikiem a pierwszym (regulacyjnym) czujnikiem tlenu.	<1,00	↑↑	↑	↑	↓

Uwagi:

1 W tabeli są podane najbardziej prawdopodobne zmiany składu spalin silnika ZI, występujące przy różnych uszkodzeniach silnika i jego układów, w stosunku do wzorcowego składu spalin podanego w pozycji 1.

2 Pomiar składu spalin należy wykonywać:

- dla silnika nagrzanego do temperatury pracy;
- dla konwertera katalitycznego nagrzanego do temperatury pracy (nie można jej zmierzyć, ale można zapewnić jej prawdopodobne osiągnięcie);
- dla czujnika tlenu bez grzałki, nagrzanego do temperatury pracy (analizę spalin należy wykonywać bezpośrednio po jeździe lub nagrzewaniu konwertera katalitycznego);
- przy prędkości obrotowej biegu jałowego oraz przy prędkości obrotowej w zakresie od 2000 do 3000 obr/min.

3 Symbole w tabeli oznaczają: ↑ - mały wzrost udziału objętościowego składnika spalin; ↑↑ - duży wzrost udziału objętościowego składnika spalin;

↓ - małe zmniejszenie udziału objętościowego składnika spalin; ↓↓ - duże zmniejszenie udziału objętościowego składnika spalin.