

6. Układy sterowania wtryskiem paliwa

6.1. Wiadomości wstępne

Zwiększenie wymagań dotyczących emisji spalin spowodowało, że układy mechaniczne sterujące pracą silników spalinowych o zapłonie iskrowym (tzw. silników ZI) oraz silników o zapłonie samoczynnym (tzw. silników ZS) zostały wyparte przez układy elektroniczne. Układy takie oprócz zmniejszenia emisji spalin powodują, że współczesne silniki spalinowe charakteryzują się zmniejszonym zużyciem paliwa przy zachowaniu jak największej mocy i momentu obrotowego. Największe straty paliwa występują, gdy silnik spalinowy pracuje na biegu jałowym z małą prędkością obrotową lub gdy pracuje z częściowym obciążeniem. Wprowadzenie sterowania elektronicznego silników spowodowało zmniejszenie zapotrzebowania na paliwo, zarówno na biegu jałowym, jak i przy częściowym obciążeniu silnika.

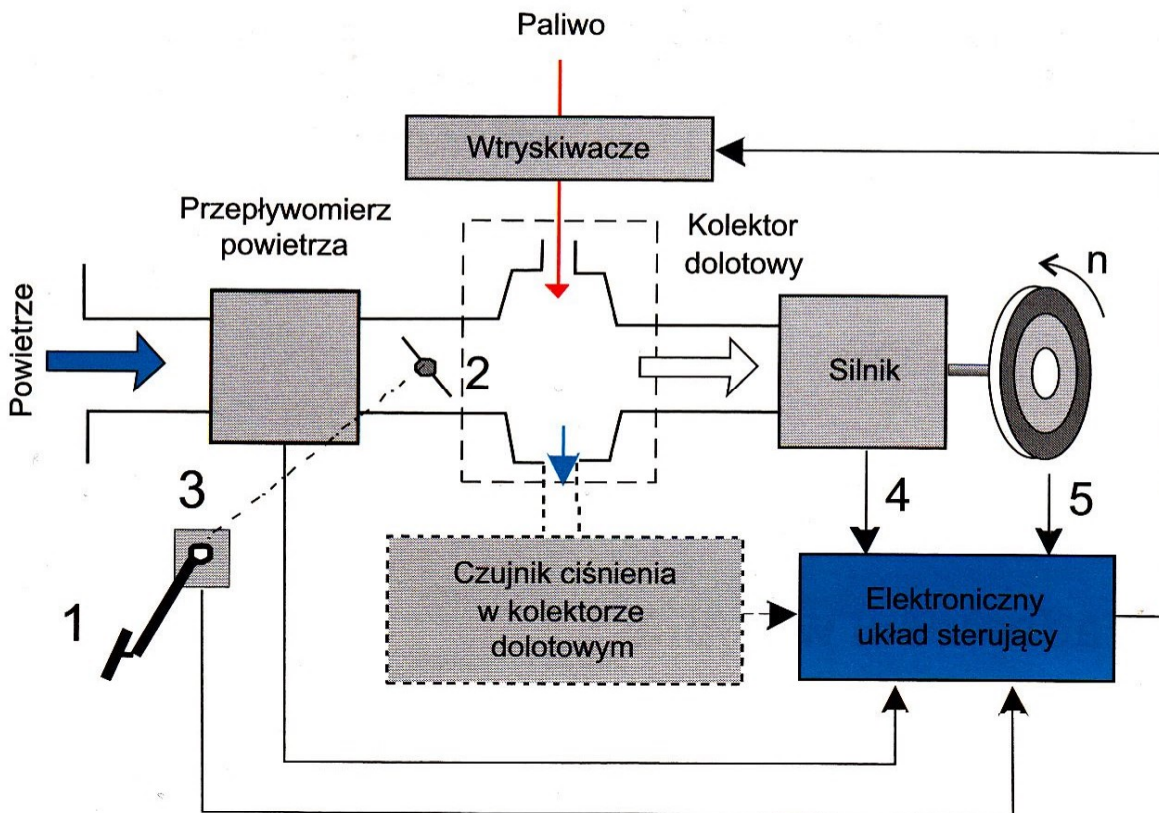
Ograniczona objętość podręcznika nie pozwala na opisanie wszystkich elektronicznych układów wtrysku paliwa od początku ich wprowadzenia do eksploatacji. Dlatego w podręczniku wyjaśniono działanie układów stosowanych w pojazdach obecnie produkowanych.

6.2. Układy sterowania silnikami o zapłonie iskrowym

6.2.1. Układ sterowania wtryskiem paliwa jako układ regulacji

Układy wtrysku paliwa są układami regulacji, w których obiektem regulacji jest silnik samochodu. Schemat funkcjonalny układu sterującego pracą silników ZI przedstawiono na rys. 6.1.

Głównym celem sterowania silników ZI jest wytworzenie na wale korbowym tych silników odpowiedniego momentu obrotowego, którego wartość zależy od manewru zaplanowanego przez kierowcę. Do tego celu są przeznaczone podukłady: napełniania, tworzenia mieszanki oraz zapłonu. Jednocześnie musi być zapewniona mała emisja szkodliwych dla otoczenia składników spalin, małe zużycie paliwa oraz komfort i bezpieczeństwo jazdy. Sprostanie tak wygórowanym wymaganiom jest możliwe



Rys. 6.1. Schemat funkcjonalny układu sterującego pracą silników ZI [56]

1 – pedał przyspieszenia, 2 – przepustnica, 3 – czujnik pedału przyspieszenia, 4 – czujniki monitorujące stan silnika, 5 – czujnik prędkości obrotowej silnika

jedynie wtedy, gdy do regulacji i nadzoru pracy silnika jest wykorzystany elektroniczny układ sterujący z odpowiednio oprogramowanym systemem mikroprocesorowym.

Decyzję o zmianie momentu obrotowego silnika podejmuje kierowca, zmieniając położenie pedału przyspieszenia 1 (rys. 6.1). Zwiększenie nacisku nogi kierowcy na ten pedał powoduje zmianę stopnia otwarcia przepustnicy 2. Wywołuje to zmianę ilości powietrza zasilającego cylindry silnika. Przepustnica może być połączona z pedałem przyspieszenia mechanicznie lub elektrycznie, gdy w samochodzie zastosowano elektryczny pedał przyspieszenia, tzw. EGAS. Pedał przyspieszenia oraz kolektor dolotowy wraz z przepustnicą stanowią podukład sterowania napełnieniem cylindrów powietrzem.

W celu prawidłowego zasilenia silników ZI w cylindrach tych silników musi być wytworzona mieszanka o ściśle określonym składzie. Idealne napełnianie cylindrów występuje przy stosunku masowym powietrza do paliwa równym 14,7:1. Mieszanka o takich proporcjach jest nazywana mieszanką stechiometryczną. Skład mieszanki rzeczywistej określa współczynnik nadmiaru powietrza λ . Wartość tego współczynnika jest określona stosunkiem masy powietrza L_r zawartej w cylindrze do masy powietrza mieszanki stechiometrycznej L_s , czyli $\lambda = \frac{L_r}{L_s}$. Silniki o wtrysku pośrednim

osiągają moc maksymalną przy $\lambda = 0,85...0,95$ (tzw. mieszanka bogata), a najmniejsze zużycie paliwa występuje przy mieszance zubożonej, dla której $\lambda = 1,1...1,2$. Katalityczne oczyszczanie spalin wymaga, aby skład mieszanki w cylindrach był zbliżony do stechiometrycznego ($\lambda = 1$). W celu uzyskania takiego składu mieszanki pa-

liwowo-powietrznej do cylindrów musi być dostarczona odpowiednia masa paliwa. Przy stałej wydajności pompy paliwa miarą masy dostarczanego paliwa w silnikach z wtryskiem jest czas otwarcia wtryskiwaczy. Masę paliwa i wartość współczynnika λ dla mieszanki jednorodnej w silnikach o wtrysku pośrednim i bezpośrednim, wyznacza układ tworzenia mieszanki, którego sercem jest elektroniczny sterownik silnika. Sterownik ten oprócz czasu otwarcia wtryskiwaczy określa również kąt wyprzedzenia zapłonu. Realizacja funkcji sterująco-regulacyjnych jest możliwa, gdy sterownik silnika w sposób ciągły analizuje sygnały wyjściowe następujących czujników pomiarowych 4 (rys. 6.1):

- czujnika temperatury powietrza w kolektorze dolotowym,
- czujnika temperatury silnika,
- czujnika prędkości obrotowej wału silnika,
- czujnika spalania stukowego,
- masowego czujnika przepływu powietrza w kolektorze dolotowym (w opisywanych dalej układach L-Jetronic i Motronic),
- czujników ciśnienia w kanale dolotowym oraz ciśnienia atmosferycznego,
- czujnika (czujników) λ ,
- czujnika położenia pedału przyspieszenia w pojazdach wyposażonych w EGAS.

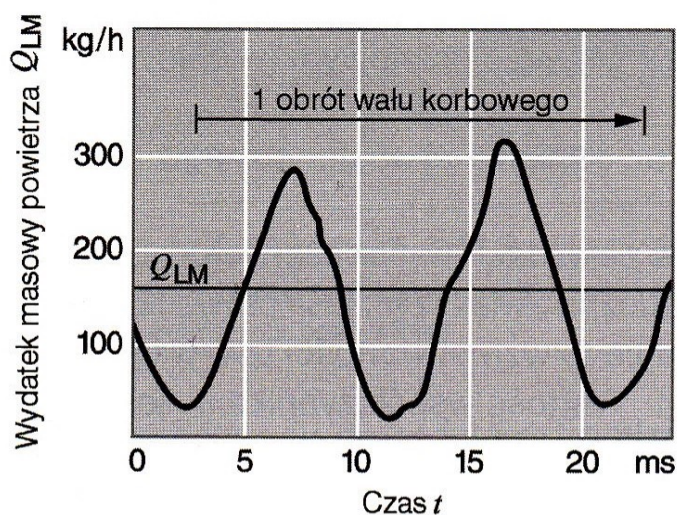
Maksymalny moment obrotowy silników ZI można zwiększyć, jeśli powietrze przed wlotem do cylindrów będzie sprężone. Powoduje to wzrost wartości tzw. współczynnika napełnienia η_v do wartości większej niż 1. Wartość współczynnika η_v jest określona stosunkiem świeżego ładunku V_r uczestniczącego w spalaniu do ładunku teoretycznego V_r wynikającego z objętości skokowej cylindra, tzn.: $\eta_v = \frac{V_r}{V_s}$. W celu do-

ładowania silników wytwarza się dynamiczne (falowe) efekty w kolektorze dolotowym. Dalsze zwiększanie gęstości ładunku można uzyskać za pomocą sprężarki napędzanej przez wał korbowy. Sprężarka taka może być napędzana również za pomocą turbiny spalinowej umieszczonej w przewodzie wylotowym silnika.

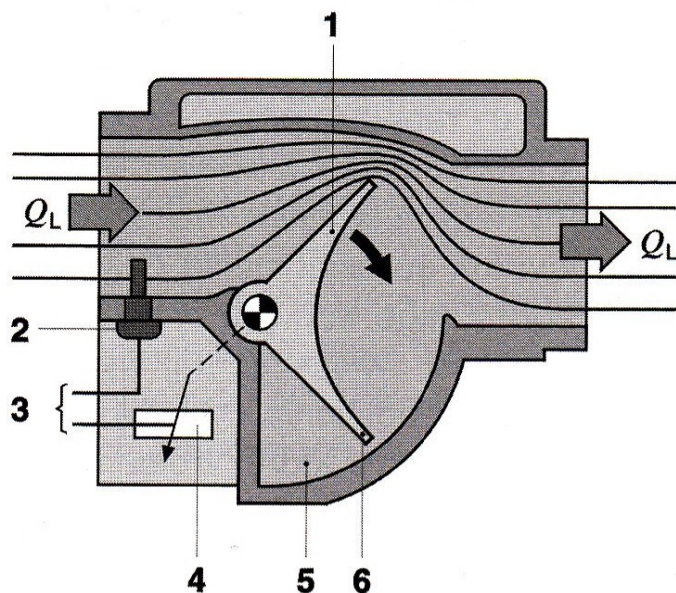
Ostatnim podukładem uczestniczącym w sterowaniu i regulacji pracy silników ZI jest układ zapłonowy. Zadaniem tego układu jest zapalenie mieszanki paliwowo-powietrznej, tak aby zasadnicze spalanie i wywołany tym spalaniem maksymalny przyrost ciśnienia w cylindrze nastąpił w chwili, gdy tłok po osiągnięciu GMP zaczyna przemieszczać się w kierunku wału korbowego. Z tego względu przy zwiększaniu prędkości obrotowej silnika układ zapłonowy musi zwiększać kąt wyprzedzenia zapłonu. Spalanie mieszanki zależy również od napełnienia cylindra. Przy całkowitym napełnieniu czas, jaki upływa od wystąpienia iskry, której źródłem jest świeca zapłonowa, do całkowitego jej spalania wynosi ok. 2 ms. Czoło płomienia przemieszcza się wolniej przy małym napełnieniu. W takim przypadku układ zapłonowy musi zwiększyć kąt wyprzedzenia zapłonu (KWZ). Elektroniczny układ zapłonowy do wyznaczenia KWZ wykorzystuje wpływ prędkości obrotowej silnika oraz napełnienie cylindrów na charakterystykę silnika, która jest wpisana do pamięci sterownika zapłonu.

6.2.2. Czujniki układów wtrysku benzyny

W podrozdziale 3.3.5 opisano czujniki wykorzystywane przez układ zapłonowy. Są to czujniki pomiaru temperatury powietrza w kolektorze dolotowym oraz temperatury silnika, czujnik prędkości obrotowej wału silnika i czujnik spalania stukowego. Oprócz tych czujników do prawidłowej pracy układów wtrysku paliwa są niezbędne informacje o ilości powietrza dostarczanego przez kolektor dolotowy do cylindrów. W procesach chemicznych miarą ilości dostarczanego powietrza jest jego masa nazwana wydatkiem masowym Q_{LM} . Dla silników o zapłonie iskrowym (ZI) wydatek masowy powietrza jest najważniejszą wielkością stanowiącą o obciążeniu silnika. Dlatego w układach wtryskowych L-Jetronic oraz Motronic do wyznaczania wielkości Q_{LM} jest wykorzystywany sygnał wyjściowy masowego przepływomierza powietrza. W zależ-



Rys. 6.2. Pulsujący przebieg wydatku masowego Q_{LM} powietrza w kanale dolotowym silnika [3]



Rys. 6.3. Działanie przepływomierza LMM z przesłoną spiętrającą [3]

1 – kłapa (przesłona) spiętrająca, 2 – czujnik temperatury, 3 – połączenia elektryczne do sterownika silnika, 4 – potencjometr, 5 – komora tłumiąca drgania przesłony spiętrającej, 6 – kłapa kompensacyjna, Q_L – wydatek masowy powietrza w kanale dolotowym

ności od mocy silnika maksymalne mierzone wartości wydatku masowego mają wartość od 400 do 1200 kg/h.

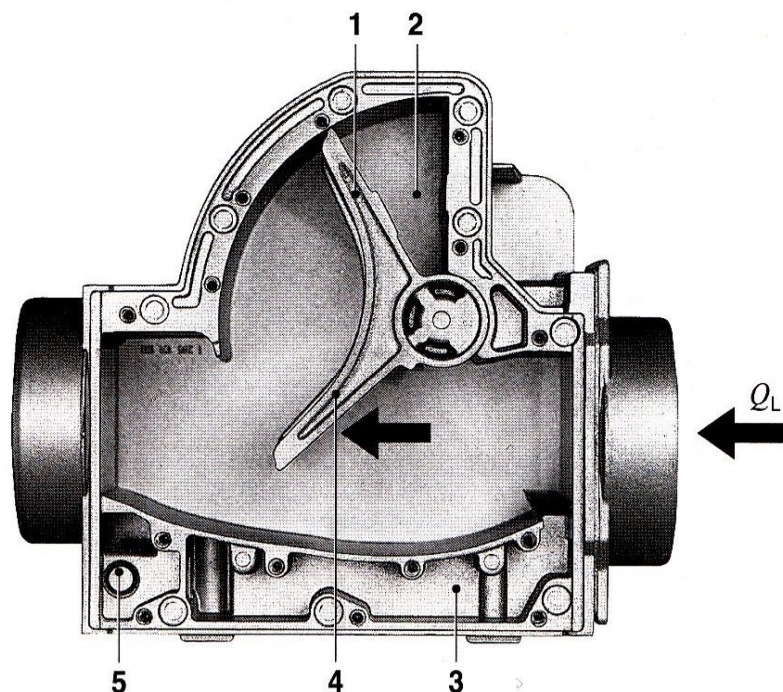
Z powodu bardzo ostrych wymagań określających toksyczność spalin i zużycie paliwa, wydatek masowy powietrza dostarczanego do silników ZI jest mierzony z dokładnością do 1...2%.

Przepływomierz jest zamontowany bezpośrednio za filtrem powietrza, przed przepustnicą. W tym odcinku kolektora dolotowego są małe pulsacje powietrza, których przyczyną jest okresowe otwieranie i zamykanie zaworów. Przykład przebiegu czasowego wydatku masowego powietrza o wartości średniej $Q_{LM} = 157,3$ kg/h w kanale dolotowym silnika pracującego z prędkością obrotową $n = 3000$ obr/min, przy ciśnieniu dolotowym $p_s = 96$ kPa, przedstawiono na rys. 6.2.

W pierwotnej wersji układów L-Jetronic i Motronic był stosowany przepływomierz objętościowy z przesłoną spiętrającą, oznaczany symbolem LMM. Po określeniu aktualnej wartości gęstości powietrza na podstawie sygnału wyjściowego przepływomierza, sterownik silnika określa wartość wydatku masowego (natężenia przepływu) powietrza Q_L niezbędną do wyznaczenia podstawowej dawki paliwa dostarczanej do silnika oraz koryguje ilość wtryskiwanego paliwa, uwzględniając stan

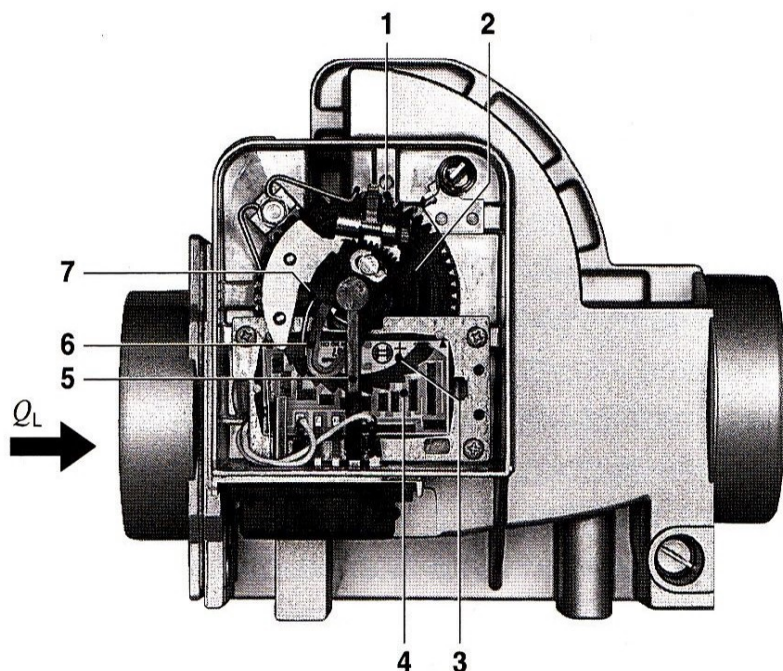
Rys. 6.4. Przekrój przepływomierza LMM [3]

1 – kłapa kompensacyjna, 2 – komora tłumiąca drgania przesłony spiętrzającej, 3 – obejście (bypass), 4 – kłapa (przesłona) spiętrzająca, 5 – wkręt regulacji składu mieszanki biegu jałowego (bypass), Q_L – wydatek masowy powietrza w kanale dolotowym



Rys. 6.5. Przekrój przepływomierza LMM od strony przyłącza [3]

1 – wieniec zębaty współpracujący ze sprężyną powrotną, 2 – sprężyna powrotna, 3 – ścieżka stykowa, 4 – płytka ceramiczna z napyłonymi rezystorami i ścieżkami przewodzącymi, 5 – suwak potencjometru, 6 i 7 – zestyki wyłącznika pompy paliwa, Q_L – wydatek masowy powietrza w kanale dolotowym

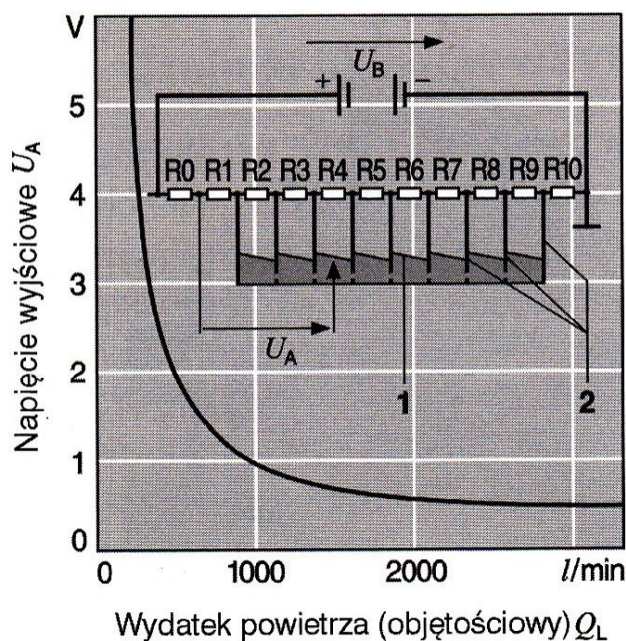


techniczny silnika i podzespołów układu wtryskowego. Zasadę działania przepływomierza z przesłoną spiętrzającą wyjaśniono na rys. 6.3, a jego budowę – na rys. 6.4 i 6.5.

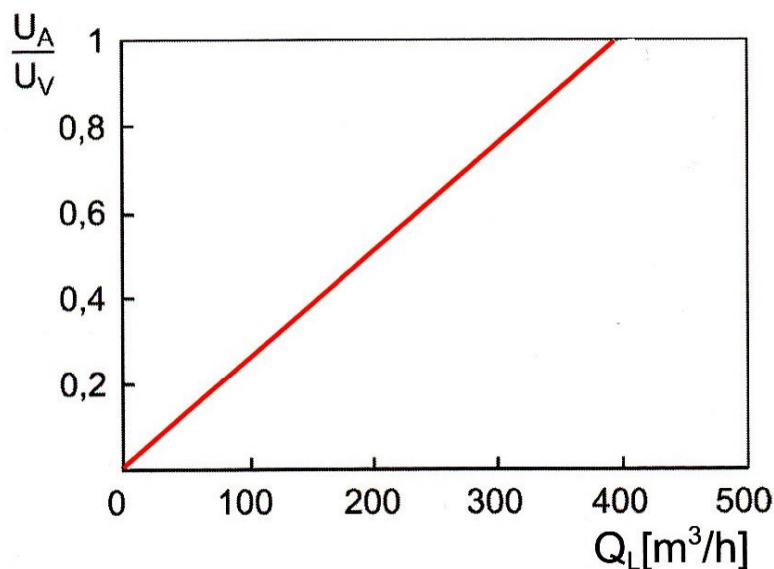
W kanale przepływomierza dołączonym do kanału dolotowego silnika jest umieszczona przesłona spiętrzająca 4 (rys. 6.4). Skutkiem otwarcia przepustnicy jest zasysanie powietrza do silnika. Strumień tego powietrza powoduje odchylenie przesłony spiętrzającej pokonującej siłę sprężyny powrotnej 2 (rys. 6.5). Drgania przesłony spiętrzającej, spowodowane pulsacją strugi zasysanego powietrza lub nagłymi zmianami obciążenia silnika, tłumiona połączona mechanicznie z przesłoną spiętrzającą kłapa kompensacyjna 1 (rys. 6.4), przemieszczająca się w komorze tłumiącej 2 (rys. 6.4).

Do zamiany kąta obrotu przesłony spiętrzającej na napięciowy sygnał elektryczny U_A służy potencjometryczny zestaw rezystorów, którego suwak jest połączony mechanicznie z osią tarczy spiętrzającej (rys. 6.6).

W celu zapewnienia dużej dokładności pomiaru wydatku masowego, czułość przepływomierza jest duża dla małego wydatku i zmniejsza się nieliniowo wraz z jego



Rys. 6.6. Potencjometr rezystancyjny przepływomierza LMM i jego charakterystyka $U_A = f(Q_L)$ [3]
1 – ścieżka stykowa, 2 – ścieżki przewodzące

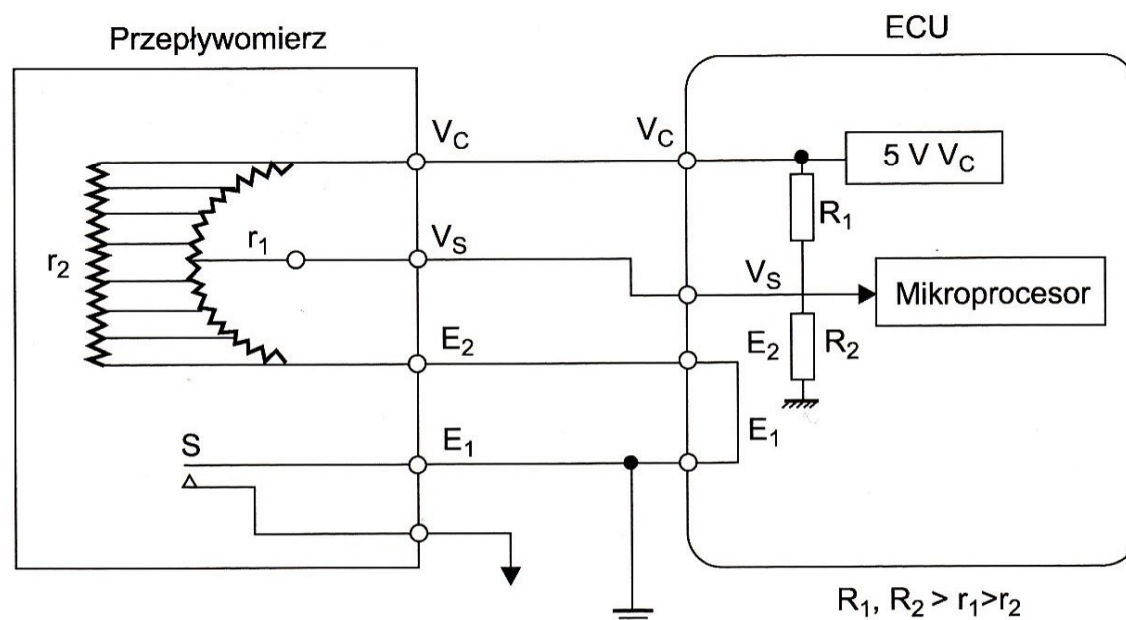


Rys. 6.7. Charakterystyka $\frac{U_A}{U_V} = f(Q_L)$ przepływomierza LMM [14]
 U_A – napięcie wyjściowe, U_V – napięcie zasilające potencjometru, Q_L – wydatek objętościowy powietrza w kanale dolotowym

wzrostem. Oznacza to, że pole przekroju poprzecznego strugi powietrza nad uchyloną klapą spiętrzającą jest powiązane zależnością logarymiczną z wydatkiem masowym powietrza w kanale głównym przepływomierza. Dlatego do linearyzacji charakterystyki przepływomierza wartości rezystorów potencjometru są tak dobrane, aby jego rezystancja malała hiperbolicznie wraz ze wzrostem wydatku masowego Q_L . Przebieg charakterystyki przepływomierza przedstawiono na rys. 6.7.

Sposób połączenia potencjometru przepływomierza ze sterownikiem silnika wyjaśniono na rys. 6.8.

Na rysunku 6.8 pokazano przepływomierz o zwiększonej niezawodności, w którym główny potencjometryczny zestaw rezystorów r_1 jest zbocznikowany przez rezystory r_2 , umożliwiające przekazywanie sygnału wyjściowego do sterownika silnika. Między



Rys. 6.8. Schemat elektryczny połączenia przepływomierza LMM i sterownika silnika [14]

masą (nadwoziem samochodu) i wyprowadzeniem E_2 przepływomierza jest włączony wyłącznik S pompy paliwa, którego styki są otwierane przez dźwignię napędową 5 suwaka potencjometru (rys. 6.5), gdy silnik nie pracuje i przesłona spiętrzająca znajduje się w położeniu spoczynkowym, zaślepiając kanał główny układu dolotowego powietrza. Dzięki temu, mimo że napięcie zasilające jest dołączone na stałe do przepływomierza, przez rezystory potencjometru nie płynie prąd. Dopiero po uruchomieniu silnika, gdy przez kanał dolotowy płynie powietrze, przesłona spiętrzająca jest uchylona i następuje zamknięcie styków wyłącznika S pompy.

Jak już sygnalizowano, do wyznaczenia wydatku masowego powietrza w kanale dolotowym oprócz sygnału wyjściowego V_S przepływomierza jest niezbędna informacja o gęstości powietrza, zależnej od temperatury. Zmiany gęstości powietrza spowodowane zmianą temperatury otoczenia sterownik wyznacza na podstawie zmian rezystancji czujnika temperatury 2 (rys. 6.3) zamontowanego w kanale głównym przepływomierza od strony wlotu powietrza, przed przesłoną spiętrzającą.

Do prawidłowego funkcjonowania układów wtryskowych Motronic jest dodatkowo niezbędna korekcja barometryczna ciśnienia powietrza w kolektorze dolotowym. Wyznaczanie bezwzględnej wartości tego ciśnienia umożliwia czujnik połączony z układem dolotowym za pomocą przewodu pneumatycznego. Czujnik ten jest zamontowany w pobliżu układu dolotowego lub w sterowniku silnika. Jego budowę i działanie wyjaśniono na rys. 5.10.

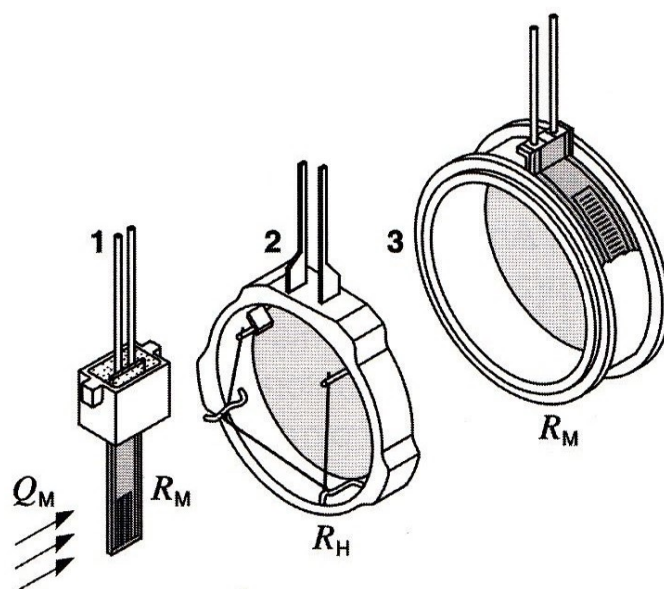
Podobnie jak czujnik bezwzględnego ciśnienia powietrza w układzie dolotowym, działa czujnik ciśnienia atmosferycznego wykorzystywany przez systemy wtryskowe Motronic.

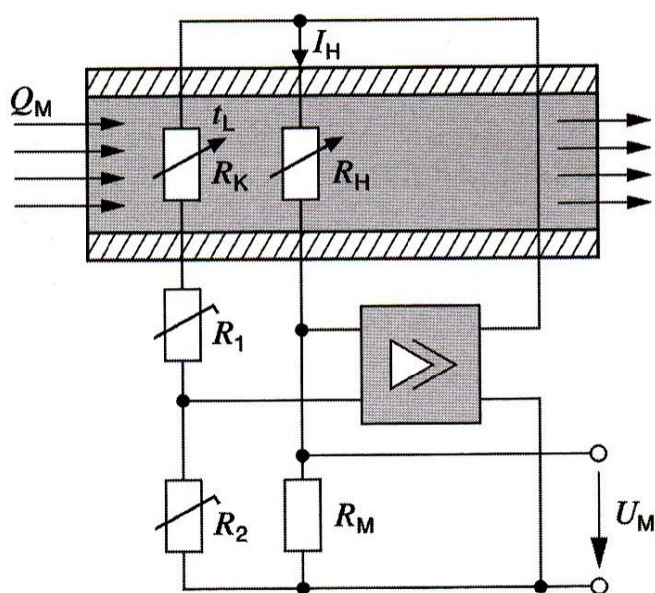
Drugim rodzajem przepływomierza stosowanym w systemach LH-Jetronic oraz Motronic był przepływomierz z termoanemometrem drutowym, oznaczany symbolem HLM. Przepływomierz ten jest termicznym miernikiem obciążenia silnika.

Głównym podzespołem starszych wersji przepływomierza HML był drut platynowy o średnicy $70\ \mu\text{m}$ i rezystancji R_H , rozpięty trapezoidalnie wewnątrz pierścienia 2 umieszczonego w rurze obustronnie chronionej osłonami siatkowymi, przez którą przepływa powietrze dolotowe (rys. 6.9). Drut platynowy jest rozmieszczony wewnątrz pierścienia tak, aby obejmował cały jego przekrój.

Rys. 6.9. Budowa przepływomierza termoanemometrycznego HML [3]

1 – rezystor kompensacyjny o rezystancji R_K ,
2 – pierścień z rozpiętym wewnątrz, podgrzewanym prądem drutem o rezystancji R_H , 3 – pierścieniowy opornik pomiarowy o rezystancji R_M , Q_M – wydatek masowy powietrza dolotowego





Rys. 6.10. Układ elektryczny przepływomierza termoanemometrycznego [3]

R_K – rezystor kompensacyjny, R_H – podgrzewany drut platynowy, R_M – rezystor pomiarowy, R_1 i R_2 – rezystory wyrównawcze, U_M – napięcie wyjściowe układu, I_H – prąd grzewczy, t_L – temperatura powietrza, Q_M – wydatek masowy powietrza dolotowego

Przed pierścieniem pomiarowym z drutem platynowym, od strony wlotu powietrza do rury przepływomierza, jest umieszczony rezystor kompensacji temperaturowej 1 o rezystancji R_K . Za pierścieniem pomiarowym, od strony wylotu powietrza z rury przepływomierza znajduje się ukształtowany pierścieniowo drut oporowy, pełniący rolę opornika pomiarowego o rezystancji R_M . Oporniki R_K , R_H i R_M są ramionami aktywnego mostka Wheatstone'a (rys. 6.10), za pomocą którego mierzy się masowy wydatek powietrza dolotowego

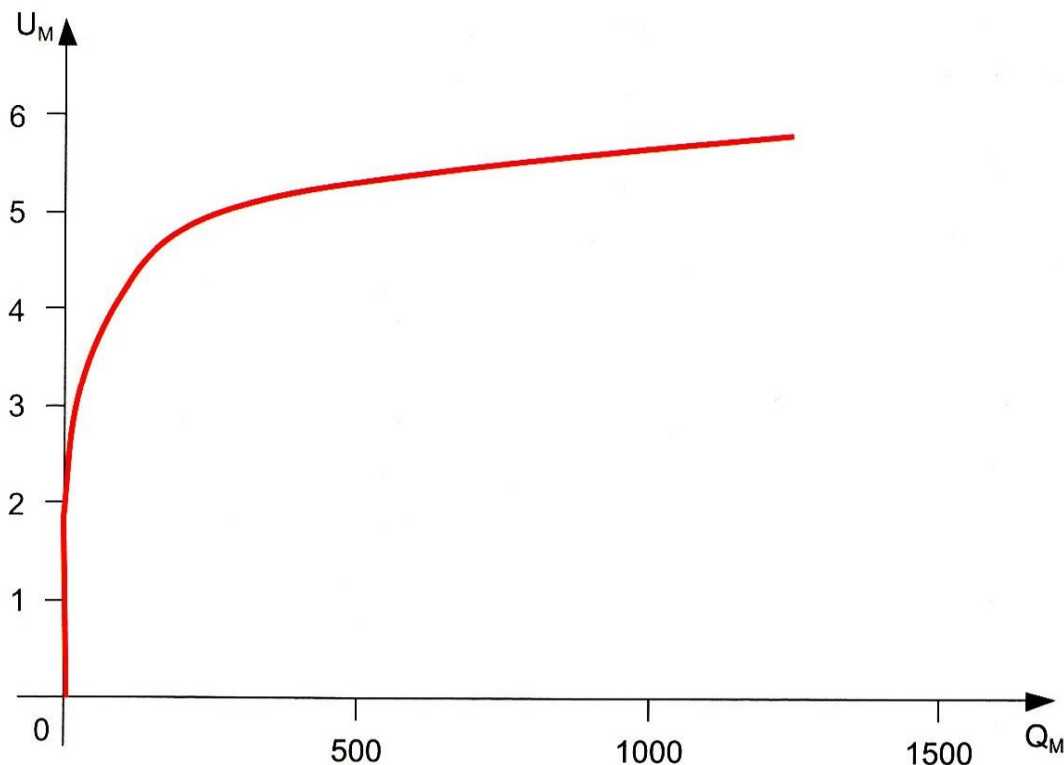
W zasadzie działania przepływomierza termoanemometrycznego wykorzystano zmiany rezystancji drutu platynowego podgrzanego prądem do ustalonej temperatury przez powietrze przepływające wewnątrz pierścienia pomiarowego 3 (rys. 6.9). Zadaniem układu pomiarowego (rys. 6.10) jest

regulacja prądu grzewczego I_H tak, aby uzyskać stały przyrost temperatury $\Delta\vartheta = 100$ K drutu platynowego ponad temperaturę opornika kompensacji temperatury R_K , przy zmianach przepływu powietrza w układzie dolotowym. Wzrost przepływu powierza powoduje chłodzenie drutu platynowego i zmniejszenie jego rezystancji. Skutkiem tego jest przyrost różnicy spadków napięć na oporniku R_2 i oporniku pomiarowym R_M , który jest wzmacniany przez wzmacniacz różnicowy zasilający mostek rezystancyjny od strony oporników R_K i R_H . Zwiększenie napięcia wyjściowego wzmacniacza powoduje wzrost prądu płynącego przez opornik platynowy R_H , czego skutkiem jest zwiększenie jego rezystancji związane z przyrostem jego temperatury. Maleje wówczas napięcie wejściowe wzmacniacza i ustala swą wartość tak, aby prąd grzewczy I_H nie powodował przyrostu temperatury $\Delta\vartheta$ drutu platynowego ponad 100 K.

Jeśli jest zachowana stała wartość przyrostu temperatury drutu platynowego, to wartość napięcia pomiarowego U_M proporcjonalnego do prądu I_H podgrzewającego drut platynowy jest proporcjonalna do masowego wydatku powietrza dolotowego, zgodnie z charakterystyką nieliniową przedstawioną na rys. 6.11.

W czasie pracy silnika na powierzchni drutu platynowego osadzają się zanieczyszczenia. Aby je usunąć, po każdym zatrzymaniu silnika drut platynowy jest podgrzewany przez ok. 1 s do temperatury 1000°C, w której nagromadzone na powierzchni drutu zanieczyszczenia odparowują lub wysychają, kruszą się i odpadają.

Kolejną udoskonaloną wersją przepływomierza z podgrzewanym drutem platynowym jest model oznaczony symbolem HFM2, wykonany na podłożu ceramicznym w technologii grubowarstwowej. Ze względu na małe gabaryty rezystorów R_K , R_H i R_M , napylonych na podłożu ceramicznym zbędne okazało się wypalanie zanieczyszczeń drutu platynowego. Znaczna pojemność cieplna podłoża ceramicznego



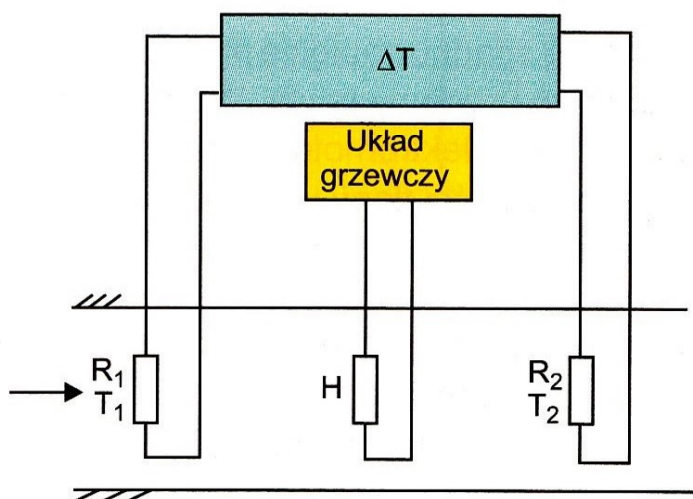
Rys. 6.11. Charakterystyka $U_M = f(Q_M)$ przepływomierza z podgrzewanym drutem platynowym

spowodowała, że nie uzyskano wymaganej małej stałej czasowej przy włączeniu układu. Z tego względu przepływomierz HFM2 zastąpiono przepływomierzem kalorymetrycznym typu HFM5, za pomocą którego można mierzyć nie tylko wydatek masowy powietrza dolotowego, ale również określać kierunek przepływu powietrza w układzie dolotowym. Takie rozwiązanie pozwoliło zminimalizować błąd pomiaru. Działanie przepływomierza HFM5 wyjaśniono na rys. 6.12.

W przepływomierzu kalorymetrycznym funkcja grzania i funkcja pomiarowa są rozdzielone między rezystor grzewczy H oraz rezystory pomiarowe R_1 i R_2 o takiej samej rezystancji.

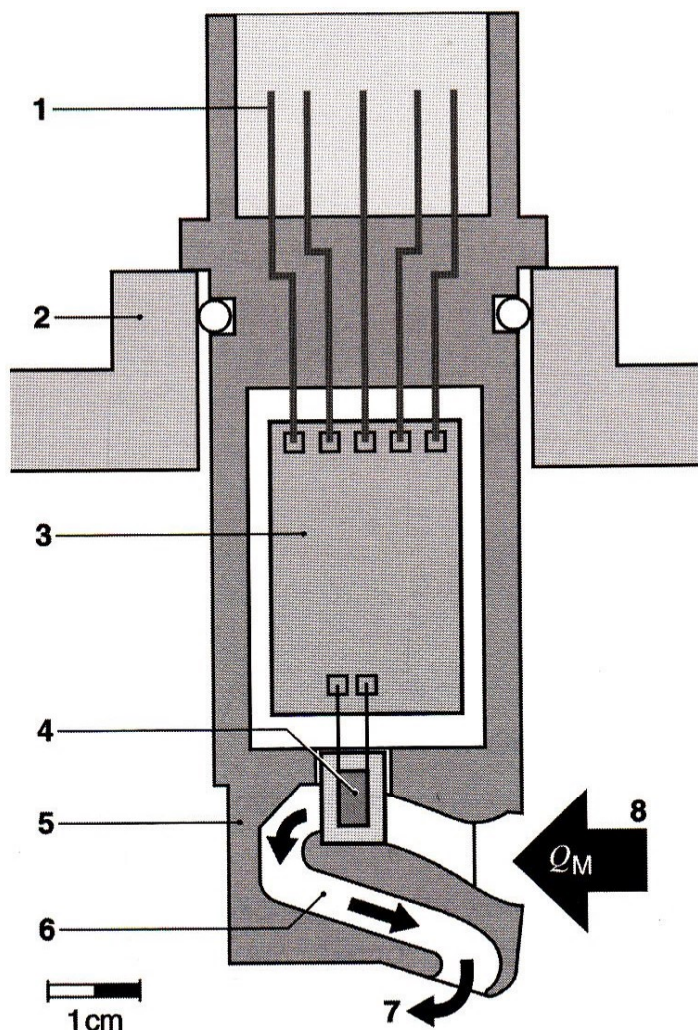
W sytuacji braku przepływu powietrza ciepło emitowane przez rezystor grzejny jest przekazywane do obu rezystorów pomiarowych. Przepływ powietrza powoduje, że ciepło jest intensywniej odbierane od rezystora pomiarowego znajdującego się od strony wlotu i temperatura tego rezystora maleje, a rezystor znajdujący się za rezystorem grzejnym jest bardziej nagrzewany. Należy przy tym pamiętać, że skutkiem wzrostu temperatury opornika jest przyrost jego rezystancji, a zmniejszenie temperatury powoduje skutek odwrotny.

Wynikająca z różnicy temperatury różnica rezystancji oporników pomiarowych jest miarą masowego wydatku powietrza dolotowego i nie zależy od bezwzględnej temperatury powietrza przepływającego w układzie dolotowym. Zmiana kierunku



Rys. 6.12. Zasada działania przepływomierza kalorymetrycznego [14]

H – rezystor grzejny, R_1 i R_2 – rezystory pomiarowe



Rys. 6.13. Budowa przepływomierza HFM5 [3]

1 – wtyczka przyłącza elektrycznego, 2 – rura pomiarowa lub ścianka filtra powietrza, 3 – płytka ceramiczna z układem elektronicznym, 4 – elementy pomiarowe przepływomierza naniesione na podłoże półprzewodnikowe, 5 – obudowa czujnika, 6 – kanał pomiarowy mierzonego częściowego strumienia powietrza o wydatku Q_M , 7 – wylot mierzonego częściowego strumienia powietrza, 8 – wlot mierzonego częściowego strumienia powietrza

tlen w spalinach. Do pomiaru tej wielkości służą dwie metody. Pierwsza polega na pomiarze spadku napięcia na odpowiednio skonstruowanym rezystorze ceramicznym zasilanym prądem stałym. W drugiej metodzie – bezprądowej – wykorzystuje się zależność siły elektromotorycznej na zaciskach ogniwa galwanicznego ze stałym elektrolitem od ilości tlenu w ośrodku, w którym ogniwo jest umieszczone.

W obu przypadkach zadaniem czujników umieszczonych w układzie wylotowym jest wyznaczenie wartości tzw. współczynnika λ (lambda), określonego stosunkiem rzeczywistej masy powietrza L_R zasysanego do masy powietrza L_T teoretycznie potrzebnego do całkowitego spalania mieszanki w cylindrach silnika: $\lambda = \frac{L_R}{L_T}$. Teore-

tycznie całkowite spalanie mieszanki z minimalną emisją składników szkodliwych występuje, gdy stosunek masy paliwa do masy powietrza w mieszance ma wartość 14,7:1. W takim przypadku współczynnik $\lambda = 1$. Przy małej ilości powietrza mieszanka jest bogata i $\lambda < 1$, a przy dużej ilości powietrza, gdy $\lambda > 1$, mieszanka jest uboga.

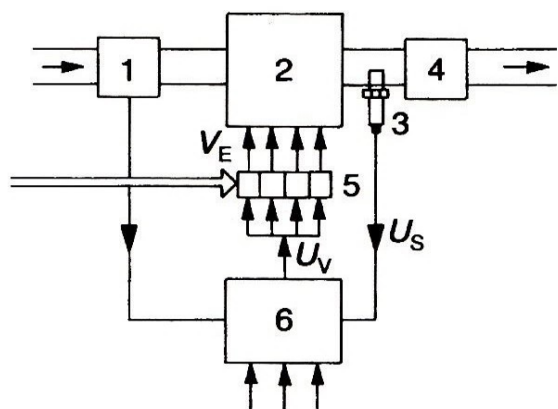
przepływu powietrza powoduje, że opornik pomiarowy przedtem nagrzewany jest chłodzony, a opornik wcześniej chłodzony jest nagrzewany. Kolejność chłodzenia oporników pomiarowych pozwala na określenie kierunku strumienia powietrza płynącego przez układ dolotowy.

Elementy pomiarowe przepływomierza, tzn. grzejnik H i rezystory R_1 i R_2 , są naniesione na płytce półprzewodnikowej, a układ elektroniczny przepływomierza jest wykonany w technologii hybrydowej na podłożu ceramicznym (rys. 6.13). Przepływomierz jest zamontowany w rurze pomiarowej umieszczonej w układzie dolotowym bezpośrednio za filtrem powietrza lub bezpośrednio w tym filtrze.

Prawidłowe funkcjonowanie układów L-Jetronic i Motronic sterujących wtryskiem paliwa silników ZI wymaga informacji o wartości ciśnienia w układzie dolotowym, wartości ciśnienia atmosferycznego oraz czystości spalin.

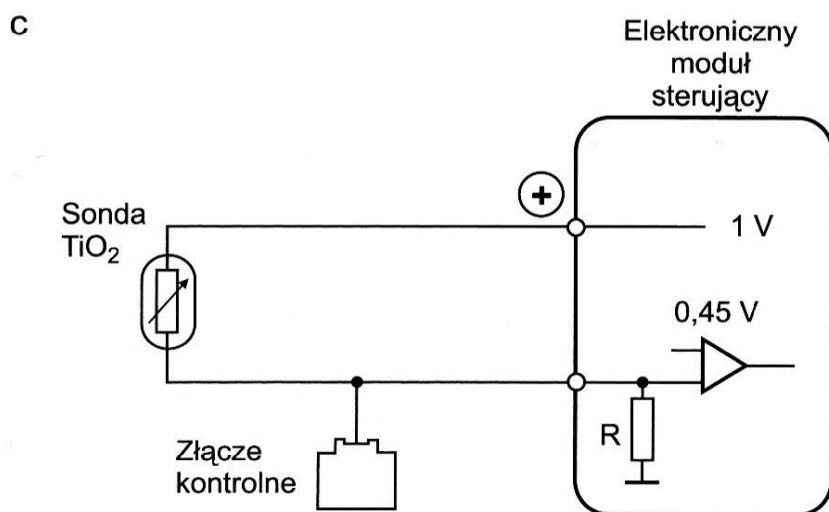
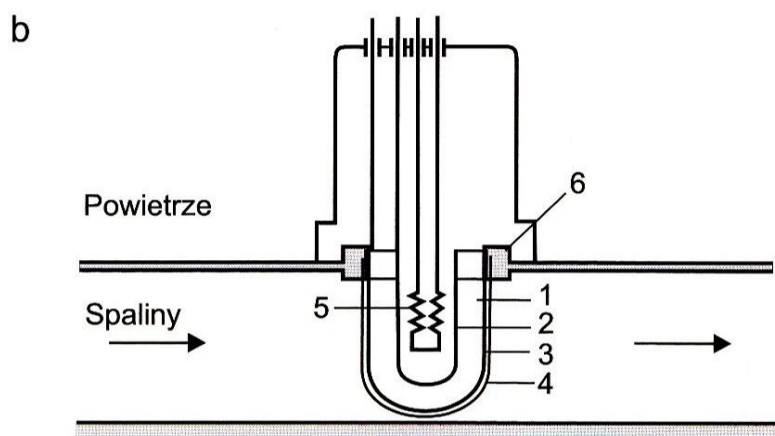
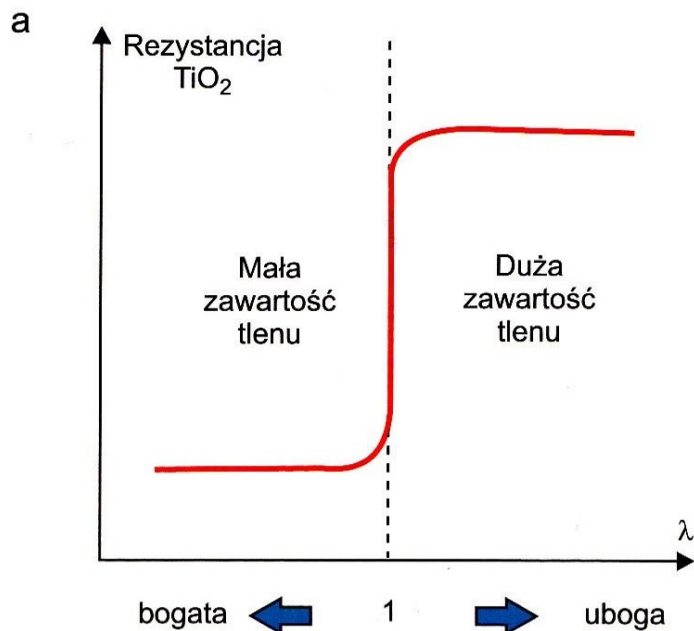
Do pomiaru ciśnienia w układzie dolotowym oraz do pomiaru ciśnienia atmosferycznego są stosowane czujniki działające podobnie jak czujnik ciśnienia oleju opisany w podrozdziale 5.4 (rys. 5.9).

Miarą czystości spalin jest zawartość



Rys. 6.14. Schemat blokowy układu regulacji lambda [18]

1 – przepływomierz powietrza, 2 – silnik,
3 – sonda λ , 4 – katalizator, 5 – zespół
wtryskiwaczy, 6 – urządzenie sterujące,
 U_S – napięcie wyjściowe sondy, U_V – napięcie
sterujące wtryskiwaczami, V_E – ilość
wtryskiwanego paliwa



Rys. 6.15. Charakterystyka (a), budowa (b) i układ elektryczny (c) rezystancyjnej (tytanowej) sondy λ [14]

1 – tytanowy rezystor pomiarowy,
2 i 3 – elektrody platynowe, 4 – osłona,
5 – grzałka, 6 – obudowa

Na podstawie wartości sygnału wyjściowego sondy lambda sterownik silnika zmienia ilość paliwa wtryskiwanego do cylindrów, monitorując wartość tego sygnału. Realizowane jest to w zamkniętym układzie regulacji, w którym pętla sprzężenia zwrotnego jest zamknięta za pośrednictwem tej sondy. Schemat blokowy układu regulacji lambda przedstawiono na rys. 6.14.

Jak już sygnalizowano, wartość współczynnika λ można mierzyć pośrednio, przez pomiar rezystancji czujnika ceramicznego. Czujnik taki jest wykonany z dwutlenku tytanu TiO_2 i jego rezystancja ma małą wartość, gdy mieszanka jest bogata, czyli gdy

jest mała ilość powietrza (tlenu), a gwałtownie (skokowo) wzrasta przy dużej ilości powietrza (tlenu), gdy mieszanka jest uboga (rys. 6.15a). Budowę czujnika rezystancyjnego λ wyjaśniono na rys. 6.15b.

Ze względu na skokową zmianę rezystancji sondy przy zmianie składu mieszanki, musi być ona zasilana napięciem o bardzo stabilnej wartości. Źródło tego napięcia jest umieszczane w sterowniku silnika i podłączone bezpośrednio do sondy w sposób przedstawiony na rys. 6.15c. Drugi zacisk sondy jest dołączony do masy układu sterownika za pośrednictwem rezystora R , który wraz z rezystancją sondy tworzy dzielnik napięcia. Rezystor R , podobnie jak źródło napięcia zasilającego sondę, jest podzespołem układu sterownika silnika.

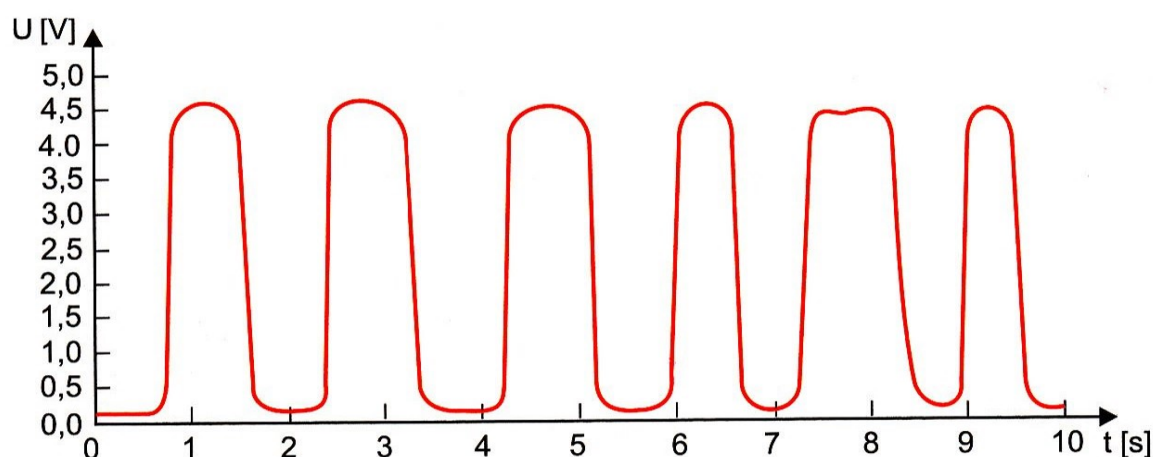
Wartość rezystancji opornika R jest tak dobrana, aby przy napięciu zasilającym sondę równym 5 V i zmianie składu mieszanki, przy którym $0,9 < \lambda < 1,1$, napięcie na oporniku miało wartość $3,85 \dots 0,4$ V.

W czasie pracy silnika napięcie na rezystorze jest proporcjonalne do współczynnika λ spalin i porównywane w komparatorze z napięciem odniesienia o wartości 0,45 V. Przy mieszance bogatej napięcie na rezystorze R ma wartość większą niż 0,45 V, a zubożenie mieszanki powoduje zmniejszenie wartości tego napięcia poniżej 0,45 V.

Przedstawiony na rys. 6.15 sposób dołączenia sondy λ do sterownika silnika pozwala na samodiagnozowanie układu. W przypadku gdy wystąpi przerwa przewodów łączących tę sondę ze sterownikiem, do wejścia komparatora przez opornik R będzie dołączony potencjał masy (0 V). Wtedy na wyjściu komparatora występuje sygnał o stałej wartości, odpowiadający mieszance ubogiej. Natomiast w trakcie normalnej pracy, gdy przewody łączące sondę ze sterownikiem nie mają przerwy, sygnał wyjściowy komparatora oscyluje z częstotliwością zgodną z prędkością obrotową silnika – rys. 6.16. Stała wartość sygnału wyjściowego komparatora sygnalizuje sterownikowi uszkodzenie obwodu zasilania sondy.

Oprócz sond rezystancyjnych do określania składu mieszanki są wykorzystywane sondy funkcjonujące jak ogniwa o napięciu wyjściowym uzależnionym od współczynnika λ mieszanki paliwowo-powietrznej dostarczanej do silnika.

W zależności od przebiegu charakterystyki $U = f(\lambda)$ można rozróżnić napięciowe sondy λ wąsko- i szerokopasmowe. Przebieg charakterystyki $U = f(\lambda)$ sondy wąskopasmowej jest skokowy (rys. 6.17).



Rys. 6.16. Przebieg napięciowego sygnału wyjściowego tytanowej sondy λ w trakcie pracy silnika [14]

Dla mieszanki bogatej ($\lambda < 1$) napięcie wyjściowe sondy ma wartość ok. 950 mV, a dla mieszanki ubogiej ($\lambda > 1$) wartość tego napięcia spada do poziomu ok. 50 mV. Budowę napięciowej sondy wąskopasmowej wyjaśniono na rys. 6.18.

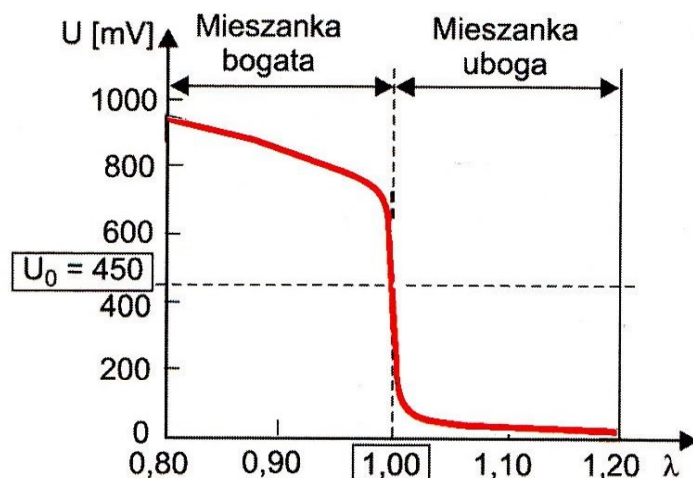
Wąskopasmowa napięciowa sonda λ jest ogniwnem galwanicznym z elektrolitem, którym jest wkład ceramiczny 1 (rys. 6.18) dwutlenku cyrkonu stabilizowanego tlenkiem itru. Elektrolityczny wkład ceramiczny jest nieprzepuszczalny i do obu stron tego wkładu są przyłączone elektrody 2 wykonane z porowatej, cienkiej platyny.

Zewnętrzna elektroda platynowa styka się ze spalinami w układzie wylotowym i działa jak katalizator doprowadzający spaliny do stanu, przy którym $\lambda = 1$. Jest to tzw. stan stechiometrycznej równowagi.

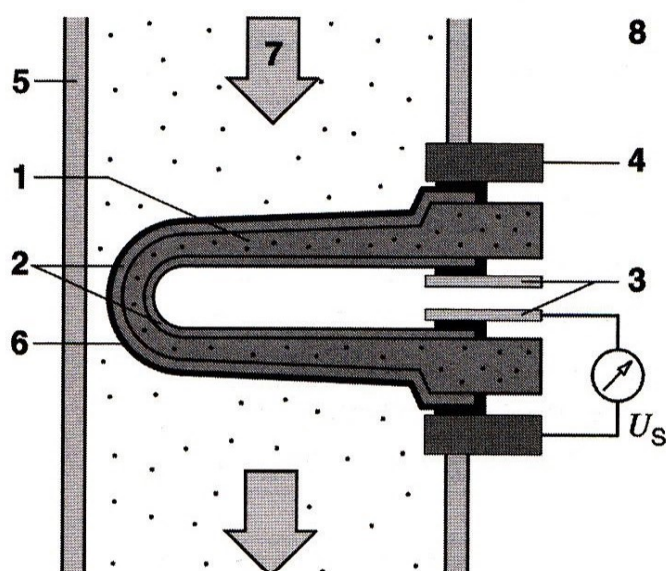
W celu ochrony przed zniszczeniem elektroda platynowa, mająca bezpośredni kontakt ze spalinami, jest pokryta porowatą warstwą ceramiczną wykonaną ze spinelu (tlenki magnezowo-krzemowe) i dodatkowo całość jest umieszczona w rurkowej osłonie metalowej z otworami, chroniącej sondę przed obciążeniami mechanicznymi. Ze względu na kształt tej osłony sondy napięciowe cyrkonowe, o budowie jak na rys. 6.18, są nazywane sondami palcowymi.

Napięciowy sygnał wyjściowy U_s sondy występuje między pierścieniem stykowym 4 i elektrodą 3 połączoną z niedostępną dla spalin platynową elektrodą wewnętrzną. Przyczyną tego sygnału jest zróżnicowanie gęstości tlenu w spalinach oraz w powietrzu zewnętrznym przedostającym się do wnętrza sondy przez otwór wlotowy w obudowie (rys. 6.18).

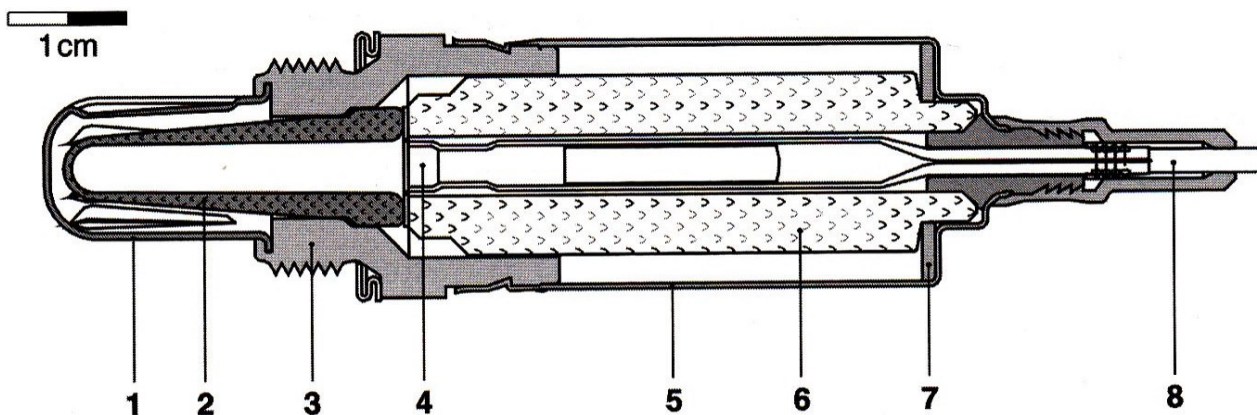
Podobnie jak sondy tytanowe, napięciowe sondy cyrkonowe mają właściwości zależne od temperatury. Najkorzystniejsza temperatura pracy tych sond wynosi 600°C i nie powinna przekraczać 850°C . W celu możliwości wykorzystania układu regulacji λ przy niskiej temperaturze silnika, np. przy małym obciążeniu lub przy pracy na biegu jałowym, sonda jest podgrzewana za pomocą grzałki umieszczonej w jej wnętrzu w sposób pokazany na rys. 6.19.



Rys. 6.17. Przebieg charakterystyki $U = f(\lambda)$ wąskopasmowej napięciowej sondy λ dla temperatury ok. 600°C [14]

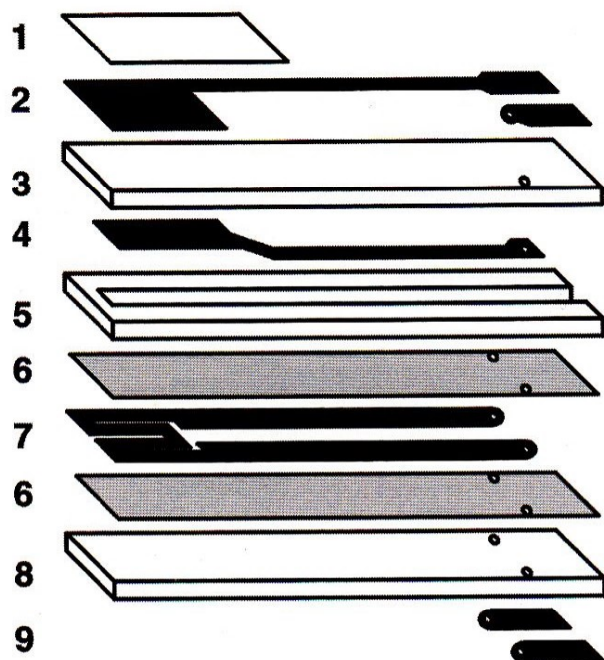


Rys. 6.18. Wąskopasmowa napięciowa sonda λ umieszczona w układzie wylotowym silnika ZI [3]
1 – ceramika sondy, 2 – elektrody, 3 – zestyki, 4 – część stykowa obudowy, 5 – rura układu wylotowego silnika, 6 – ceramiczna porowata warstwa ochronna, 7 – spaliny, U_s – napięciowy sygnał wyjściowy sondy



Rys. 6.19. Ogrzewana sonda palcowa typu LSH24 [3]

1 – obudowa, 2 – rurkowa wkładka ceramiczna, 3 – przewody elektryczne, 4 – rurkowa osłona ze szczelinami, 5 – aktywny ceramiczny trzon sondy z platynową warstwą katalityczną, 6 – styk elektryczny, 7 – tulejka ochronna, 8 – element grzejny, 9 – styk elektryczny elementu grzejnego, 10 – dociskowa sprężyna tarczowa

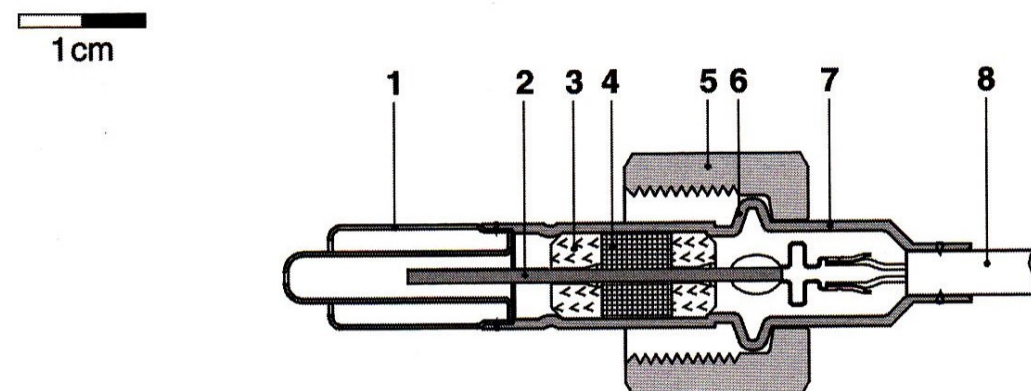


Rys. 6.20. Schemat funkcjonalny planarnej sondy λ [3]

1 – porowata warstwa ochronna, 2 – elektroda zewnętrzna, mająca kontakt ze spalinami, 3 – folia przetwornika, 4 – elektroda wewnętrzna, 5 – kanał gazu odniesienia, którym może być powietrze, 6 – warstwa izolacyjna, 7 – element grzejny, 8 – folia elementu grzejnego, 9 – styki elektryczne

Obecnie palcowe sondy λ o charakterystyce skokowej są wypierane przez sondy płaskie wykonane w technologii planarnej. Są to sondy, których elementem pomiarowym jest płytka utworzona przez kilka warstw ceramicznych (rys. 6.20).

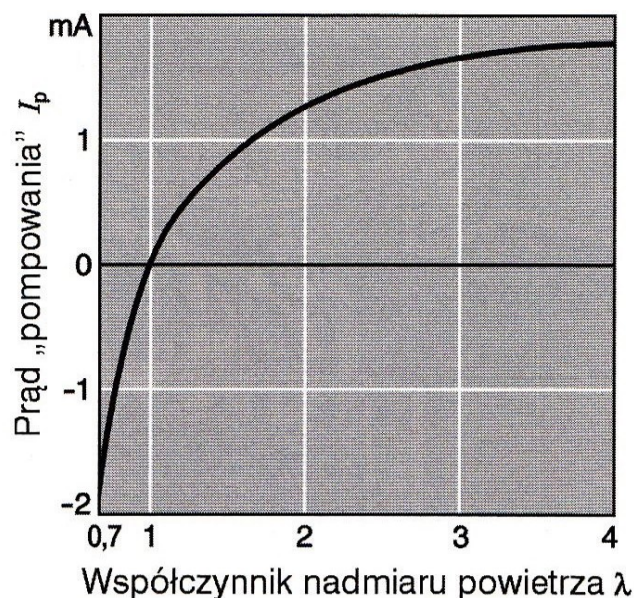
W sondzie palcowej gazem odniesienia jest tlen z powietrza dopływającego do wnętrza sondy odizolowanego od kanału wylotowego silnika. W sondzie planarnej natomiast zamiast powietrza można stosować tlen zamknięty w szczelnej komorze wewnątrz sondy. Dzięki temu sondy planarne mają mniejsze gabaryty i wymagają mniejszej mocy dla elementu grzejnego zintegrowanego z elementem pomiarowym o niewielkich gabarytach. Budowę miniaturowej sondy planarnej typu LSF8 przedstawiono na rys. 6.21.



Rys. 6.21. Planarna sonda wąskopasmowa typu LSF8 [3]

1 – osłona rurkowa, 2 – paski elementu pomiarowego, 3 – wkładka izolacyjna, 4 – ceramiczny pakiet uszczelniający, 5 – nakrętka mocująca, 6 – kołnierz uszczelniający, 7 – obudowa, 8 – ekranowany przewód elektryczny

W silnikach przystosowanych do spalania ubogiej mieszanki o wartości współczynnika $\lambda > 1,5$ sondy wąskopasmowe nie mogą być stosowane. W takim przypadku do regulacji składu mieszanki są stosowane sondy ubogiej mieszanki pracujące z wykorzystaniem tzw. prądu granicznego. Sondy takie pozwalają na wyznaczenie składu dowolnych mieszanek o współczynniku $\lambda > 1$, przy czym są one czujnikami wyposażonymi w dwa ogniwa z elektrolitem stałym, które przy współpracy z układem elektronicznym mogą mierzyć skład mieszanki o współczynniku λ od 0,7 do 4. Ze względu na zakres zmiany mierzonych wartości współczynnika λ , sondy takie są nazywane szerokopasmowymi. Charakterystykę takiej sondy przedstawiono na rys. 6.22. Sygnałem wyjściowym sondy szerokopasmowej jest prąd zamieniany na napięcie przez odpowiedni kondycjoner wejściowy sterownika silnika.

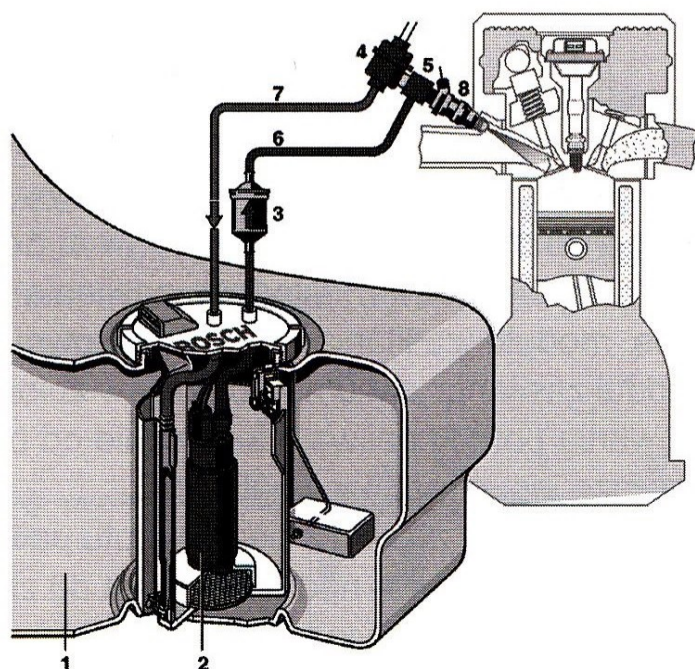


Rys. 6.22. Przebieg charakterystyki sondy szerokopasmowej [3]

6.2.3. Podzespoły elektromechaniczne układów zasilania paliwem

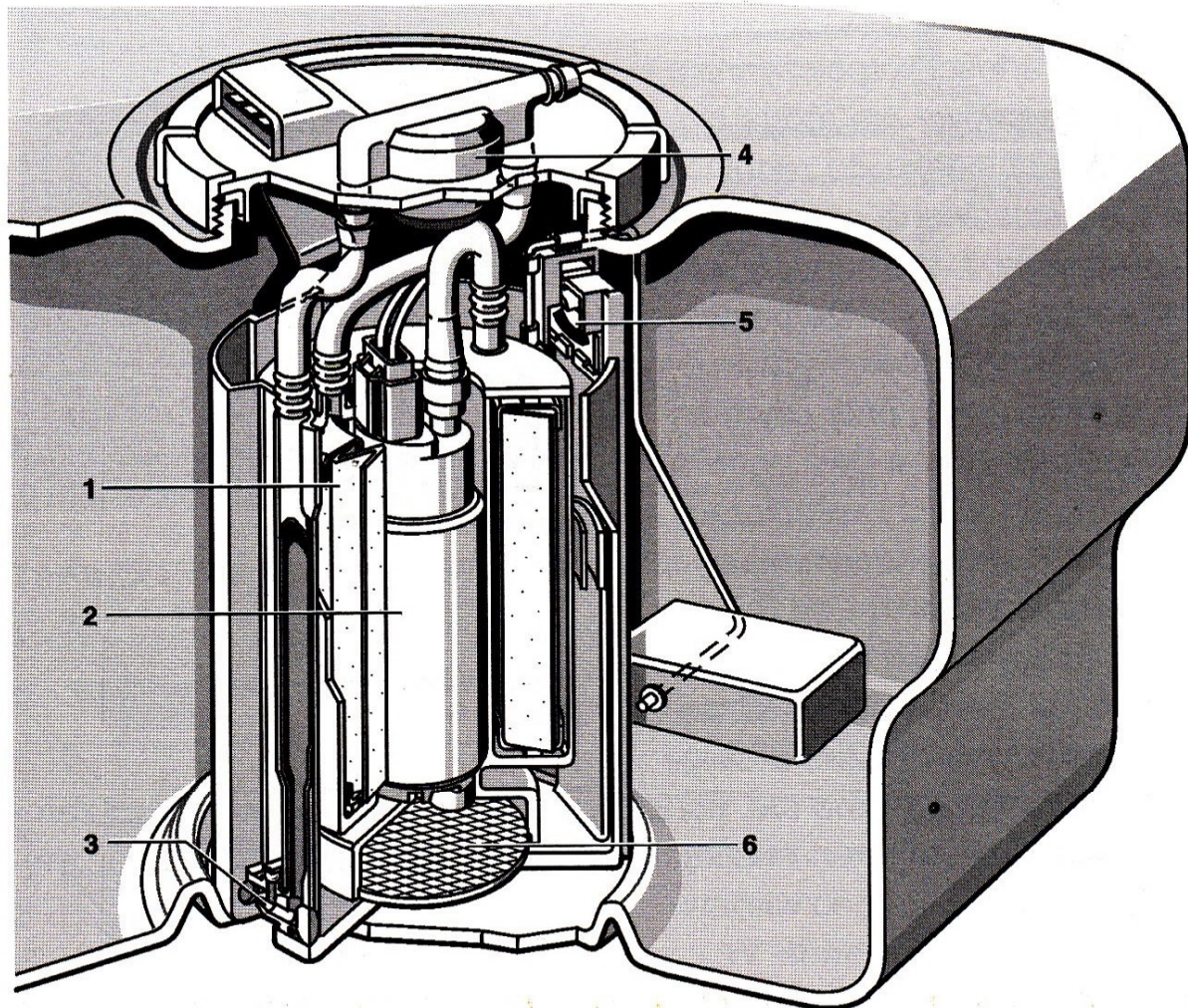
Współczesne silniki spalinowe o zapłonie iskrowym są wyposażone w zespół wtryskiwaczy dawkujących paliwo pośrednio do przewodu dolotowego (układ MPI) lub bezpośrednio do komory spalania (układ GDI). Prawidłowa praca silników wymaga, aby paliwo było dostarczane do zespołu wtryskiwaczy pod określonym ciśnieniem. Za dostarczenie paliwa do zespołu wtryskiwaczy jest odpowiedzialny układ zasilania w paliwo. Budowę układu zasilania paliwem silników z wtryskiem pośrednim, z odpływem nadmiaru paliwa, przedstawiono na rys. 6.23.

W układzie przedstawionym na rys. 6.23 umieszczona w zbiorniku 1 pompa 2 w sposób ciągły tłoczy paliwo przez filtr 3 do regulatora ciśnienia paliwa 4. Zadaniem tego regulatora jest utrzymywanie w obwodzie zasilania stałego ciśnienia



Rys. 6.23. Układ zasilania paliwem silnika z wtryskiem pośrednim, z odpływem nadmiaru paliwa [47]

1 – zbiornik paliwa, 2 – elektryczna pompa paliwa umieszczona w zbiorniku, 3 – filtr paliwa, 4 – regulator ciśnienia paliwa, 5 – zasobnik paliwa, 6 – przewód dopływu paliwa, 7 – przewód odpływu paliwa, 8 – wtryskiwacz paliwa



Rys. 6.24. Moduł zasilania [47]

1 – filtr paliwa, 2 – elektryczna pompa paliwa, 3 – przepływowa pompa nastawna, 4 – regulator ciśnienia paliwa, 5 – czujnik poziomu paliwa, 6 – filtr wstępny

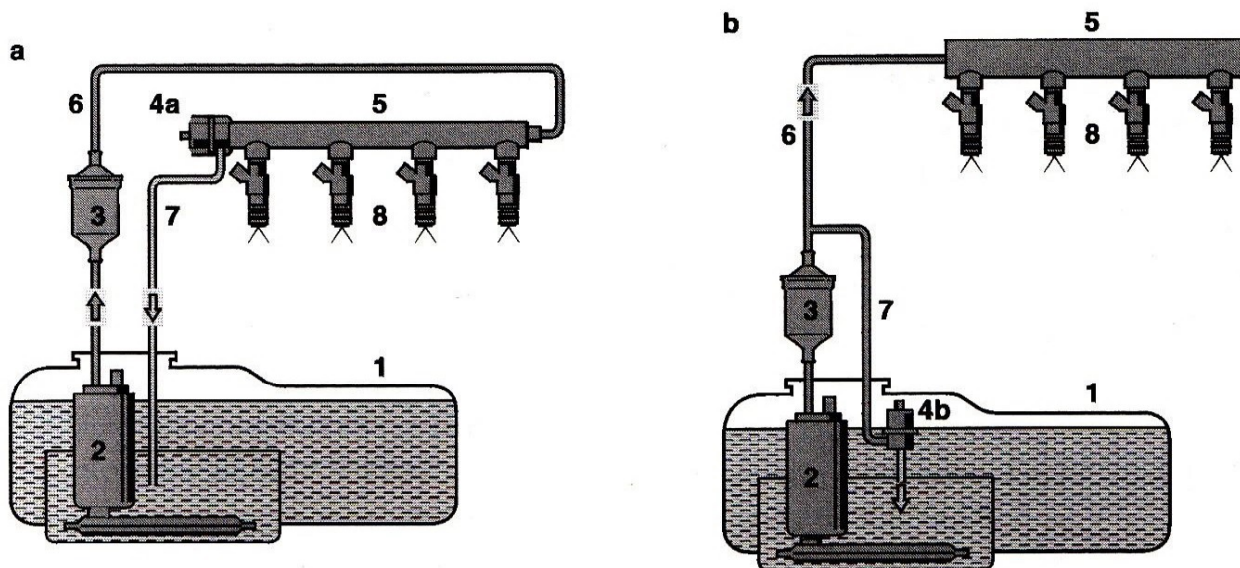
o wartości zależnej od rodzaju układu wtryskowego. Niezależnie od stanu pracy silnika ilość paliwa dostarczanego przez pompę musi być większa od chwilowego zapotrzebowania silnika. Niewykorzystywany przez wtryskiwacze 8 nadmiar paliwa wraca do zbiornika za pośrednictwem przewodu odpływowego 7.

W nowoczesnych układach zasilania paliwem pompa paliwa jest integralną częścią modułu zasilania, zwanego również zespołem zbiornika paliwa (rys. 6.24). Moduł zasilania jest umieszczony w zbiorniku paliwa. Ze względu na sposób funkcjonowania pompy paliwa, niezależnie od poziomu paliwa w zbiorniku, moduł zasilania zawsze jest napełniony paliwem.

W układach zasilania bez powrotu paliwa jest umieszczony regulator ciśnienia kierujący wewnętrznie nadmiar paliwa do zbiornika.

Różnice w budowie układu zasilania z odpływem paliwa oraz układu bez odpływu nadmiaru paliwa pokazano na rys. 6.25.

W układzie z przewodem odpływu nadmiaru paliwa regulator ciśnienia 4a oraz przewód dopływu paliwa 6 znajdują się po przeciwnych stronach zasobnika 5 zasilającego wtryskiwacze. Przy takim usytuowaniu regulatora, w zasobniku paliwa jest utrzymywane stałe nadciśnienie w stosunku do ciśnienia w przewodzie dopływowym. Dzięki temu ilość paliwa dostarczana przez wtryskiwacze jest zależna od czasu trwania wtrysku i nie zależy od stopnia napełnienia cylindrów ani od ciśnienia dołotu.



Rys. 6.25. Układy zasilania paliwem z wtryskiem pośrednim – układ z odpływem nadmiaru paliwa (a), układ bez odpływu nadmiaru paliwa (b) [47]

1 – zbiornik paliwa, 2 – elektryczna pompa paliwa, 3 – filtr paliwa, 4a – regulator ciśnienia paliwa odniesiony do ciśnienia w kolektorze dolotowym powietrza, 4b – regulator ciśnienia paliwa odniesiony do ciśnienia atmosferycznego, 5 – zasobnik paliwa, 6 – przewód dopływu paliwa, 7 – przewód odpływu nadmiaru paliwa, 8 – wtryskiwacze

W układach z przewodem odpływowym ciśnienie paliwa w przewodzie dopływowym ma wartość ok. 0,3 MPa.

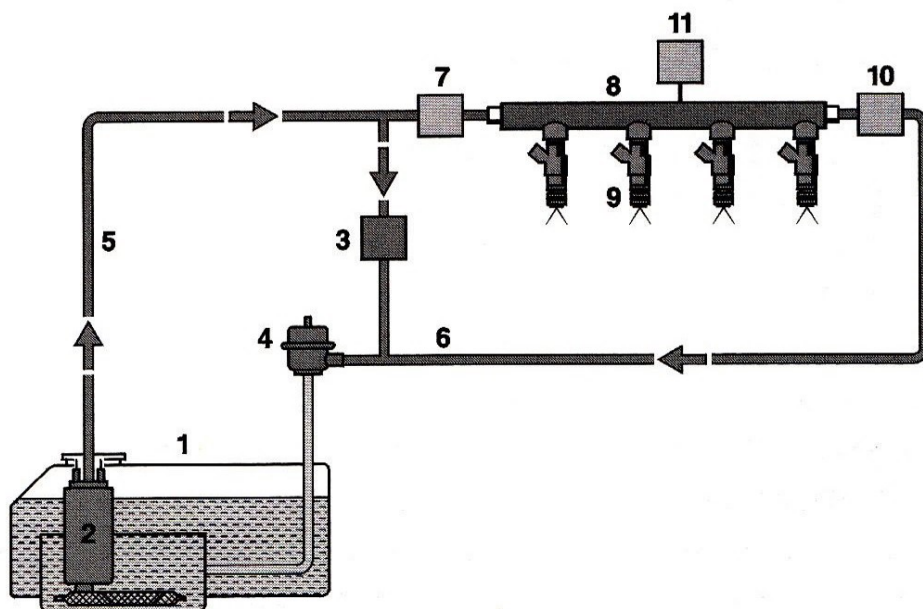
W odróżnieniu od układu z przewodem odpływowym regulator ciśnienia w układach bez takiego przewodu ustala ciśnienie paliwa na stałą wartość różnicy względem ciśnienia otoczenia. Z tego względu w zasobniku paliwa 5 ciśnienie ma wartość zmieniającą się odpowiednio do zmian ciśnienia otoczenia. Aby zmiany tego ciśnienia nie miały wpływu na ilość wtryskiwanego paliwa, czas wtrysku jest zależny od wartości ciśnienia otoczenia.

Ciśnienie w przewodzie dopływowym układów bezodpływowych ma wartość od 0,35 do 0,4 MPa.

Oprócz silników ZI z układami wtrysku pośredniego są również silniki ZI wyposażone w układy zasilania z wtryskiwaczami dawkującymi paliwo impulsowo bezpośrednio do komory spalania cylindrów. Przykład układu bezpośredniego wtrysku paliwa przedstawiono na rys. 6.26.

Rys. 6.26. Zasilanie paliwem silnika z wtryskiem bezpośrednim (układ MED-Motronic) [47]

1 – zbiornik paliwa, 2 – pompa zasilająca z wbudowanym zaworem bezpieczeństwa i filtrem paliwa, 3 – zawór zwrotny, 4 – regulator ciśnienia paliwa, 5 – przewód dopływu paliwa, 6 – przewód odpływu nadmiaru paliwa, 7 – pompa wysokiego ciśnienia, 8 – zasobnik paliwa, 9 – wtryskiwacze, 10 – zawór regulacyjny ciśnienia, 11 – czujnik ciśnienia paliwa



W układzie z rys. 6.26 można wyodrębnić obwód niskiego ciśnienia oraz obwód wysokiego ciśnienia. Obwód niskiego ciśnienia ma budowę podobną do układu zasilania paliwem silników z wtryskiem pośrednim. Obwód ten może być wyposażony w przewód odprowadzający nadmiar paliwa do zbiornika lub może być obwodem bezodpływowym. Natomiast obwód wysokiego ciśnienia działa w niżej opisany sposób.

Elektryczna pompa zasilająca 2 tłoczy paliwo pod niskim ciśnieniem (0,3...0,5 MPa) do pompy wysokiego ciśnienia 7. Zadaniem pompy wysokiego ciśnienia jest wytworzenie wysokiego ciśnienia o wartości dopasowanej do stanu pracy silnika (do momentu obrotowego na wale i prędkości obrotowej silnika). Paliwo z pompy wysokiego ciśnienia 7 jest dostarczane do zasobnika 8, do którego są dołączone wtryskiwacze elektromagnetyczne uruchamiane przez sterownik silnika. Wartość ciśnienia w zasobniku paliwa 8 jest kontrolowana przez sterownik silnika za pomocą czujnika ciśnienia 11. Wysokie ciśnienie w zasobniku paliwa musi mieć wartość od 5 do 12 MPa, a do regulacji tego ciśnienia jest przeznaczony zawór regulacyjny 10.

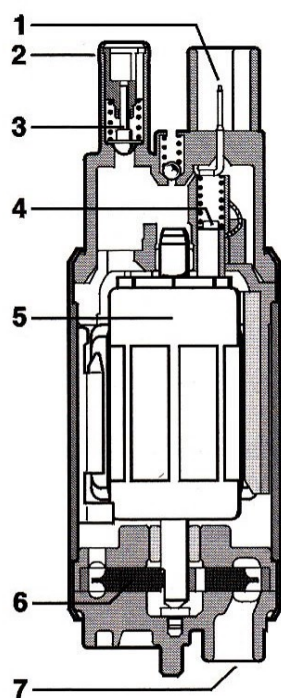
Moduły zasilania w paliwo układów z wtryskiem pośrednim są wyposażone w elektryczną pompę paliwa wyporową lub przepływową, której budowę przedstawiono na rys. 6.27.

Elektryczne pompy zasilające modułów paliwowych powinny charakteryzować się:

- wydajnością 60...200 dm³/h przy zasilaniu napięciem o wartości znamionowej;
- ciśnieniem w układzie zasilania paliwem o wartości 300...450 kPa;
- podczas uruchamiania zimnego silnika przy napięciu zasilającym o wartości 50...60% napięcia znamionowego powinny wytwarzać odpowiednie ciśnienie w obwodzie zasilania paliwem.

Pompa z rys. 6.27 jest napędzana silnikiem szczotkowym z magnesami trwałymi na stojanie. Aby uniknąć iskrzenia szczotek przy obrocie komutatora, silnik pompy jest przez cały czas zanurzony w paliwie napełniającym obudowę modułu – rys. 6.24.

Na wale silnika elektrycznego jest osadzony wirnik pompy wyporowej lub przepływowej. Działanie takich pomp wyjaśniono na rys. 6.28.



Rys. 6.27. Budowa przepływowej pompy paliwa [47]

1 – złącze elektryczne, 2 – króciec przewodu tłoczenia (odpływu paliwa), 3 – zawór zwrotny, 4 – szczotki węglowe, 5 – wirnik silnika z magnesami trwałymi, 6 – wirnik pompy przepływowej, 7 – króciec dopływu paliwa

W pompach wyporowych (rys. 6.28a i b) paliwo jest zasysane do zamkniętej przestrzeni, w której jest sprężane przez wirujący element pompy, a następnie przekazywane na stronę wysokociśnieniową. Zaletą pomp wyporowych są dobre właściwości przy pracy wysokociśnieniowej (około 400 kPa) i możliwość pracy przy napięciu zasilającym o małej wartości, około 60% wartości znamionowej. Sprawność pomp wyporowych nie przekracza 25%.

Główną wadą pomp wyporowych są szумы spowodowane pulsacją ciśnienia i spadek wydajności przy rozgrzanym paliwie oraz powstawanie korków parowych zakłócających ciągłość przepływu paliwa. Dlatego w układzie pompy jest wbudowany dodatkowy zawór wstępny.

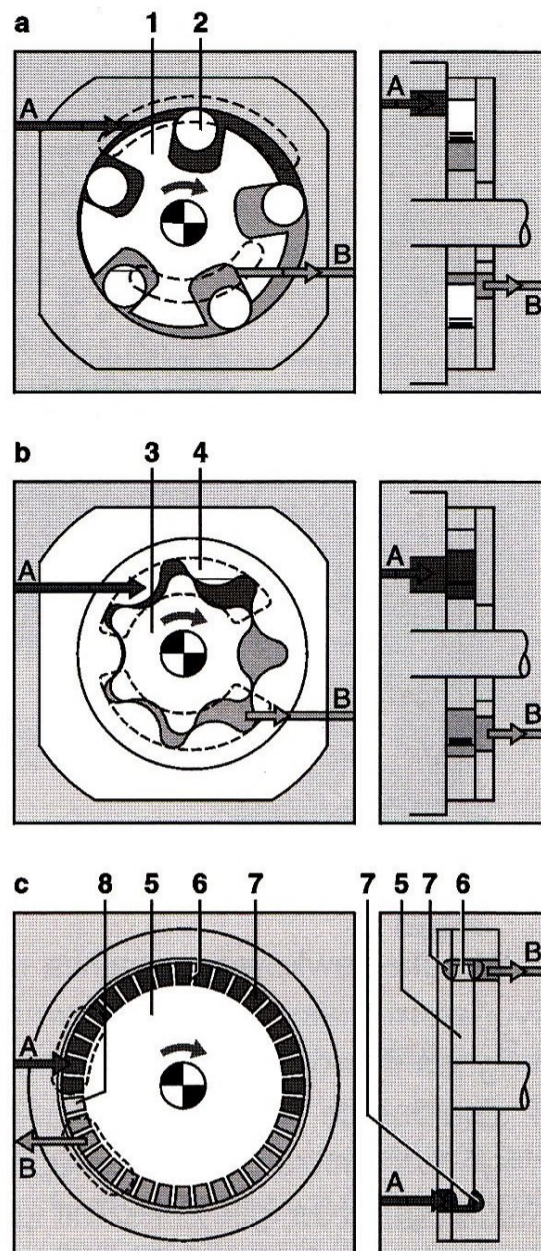
W pompach przepływowych (rys. 6.28c) wzrost ciśnienia paliwa następuje w wyniku obrotu wielołopatkowego wirnika wewnątrz obwodowego wewnętrznego kanału, którego początek (wlot A) i koniec (wylot B) są oddzielone za pomocą tzw. przerywacza 8. Podczas obrotu wirnika ciśnienie paliwa narasta wskutek przekazywania energii między wirującymi łopatkami i cząsteczkami paliwa wypełniającego przestrzeń międzyłopatkową.

W układach zasilających w paliwo silniki o zapłonie iskrowym, w celu poprawy właściwości pompy podczas pracy z rozgrzaną benzyną, w pewnej odległości od otworu wlotowego A jest wykonany niewielki otwór rozszczelniający kanał obwodowy. Otwór ten jest przeznaczony do odgazowania tłoczonego paliwa. Kontrolowana nieszczelność kanału obwodowego pompy powoduje, że jej sprawność nie przekracza 20%.

W odróżnieniu od pomp wyporowych, pompy przepływowe pracują cicho i bezszumowo.

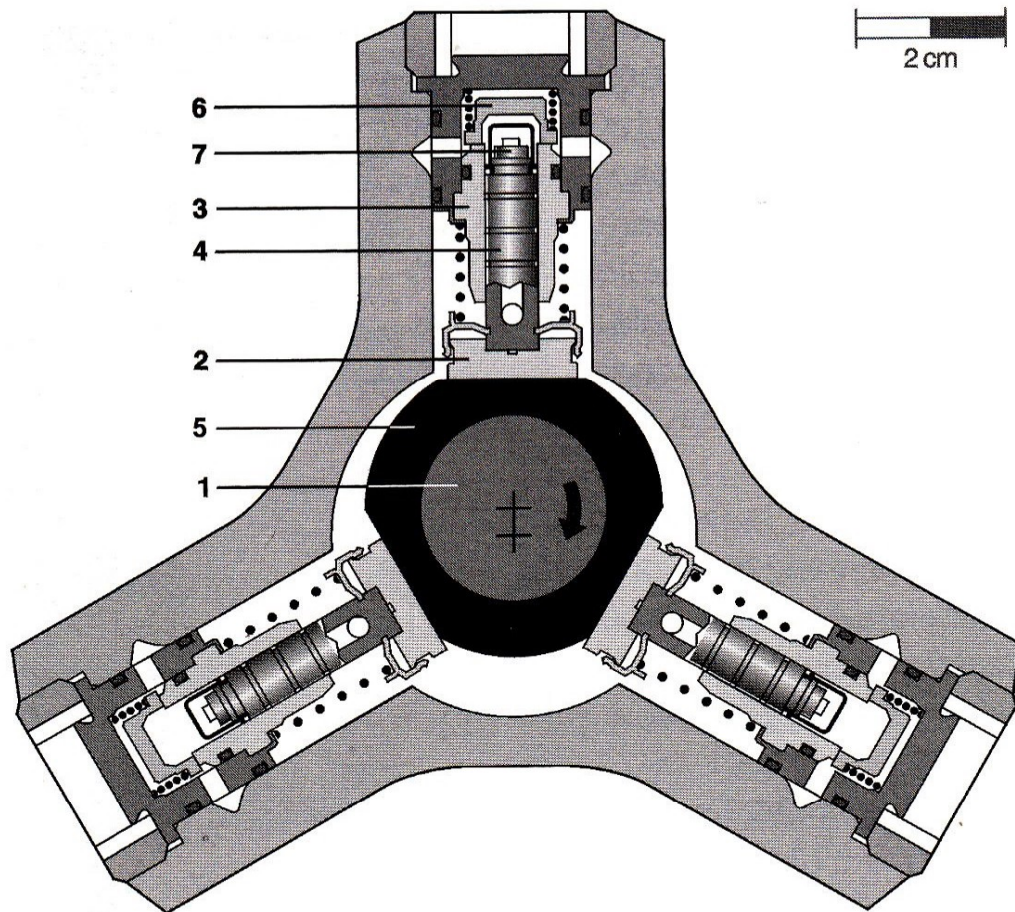
Do wytwarzania wysokiego ciśnienia w układach z wtryskiem bezpośrednim są stosowane pompy rotacyjne z trzema tłoczkami rozmieszczonymi promieniowo na obwodzie pompy. Ruch tłoczków jest inicjowany przez obrotowy mimośród osadzony na wale elektrycznego silnika napędowego. Przekrój poprzeczny pompy wysokiego ciśnienia przedstawiono na rys. 6.29.

W układach z wtryskiem pośrednim paliwo jest dostarczane do kanału dolotowego za pośrednictwem wtryskiwaczy elektromagnetycznych o budowie przedstawionej na rys. 6.30.



Rys. 6.28. Zasada działania pomp paliwa: (a) wyporowej rolkowo-komorowej, (b) wyporowej z uzębieniem wewnętrznym, (c) przepływowej obwodowo-wirnikowej [47]

A – otwór wlotowy, B – otwór wylotowy,
1 – tarcza żłobkowana mimośrodowa,
2 – rolki, 3 – wirnik wewnętrzny, 4 – wirnik zewnętrzny (mimośrodowy), 5 – wirnik,
6 – łopatki wirnika, 7 – kanał obwodowy,
8 – przerywacz

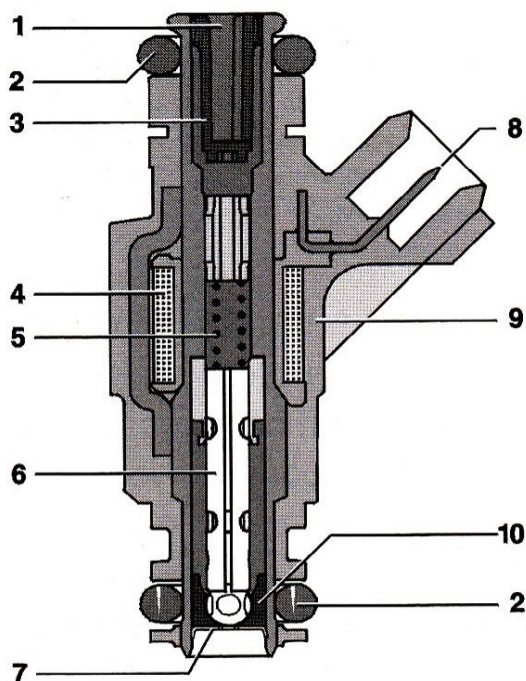


Rys. 6.29. Przekrój pompy wysokiego ciśnienia [47]

1 – mimośród, 2 – stopa popychacza, 3 – cylinderek sekcji tłoczącej, 4 – wydrążony tłoczek sekcji tłoczącej, 5 – pierścień krzywkowy, 6 – zawór wlotowy, 7 – zawór wylotowy

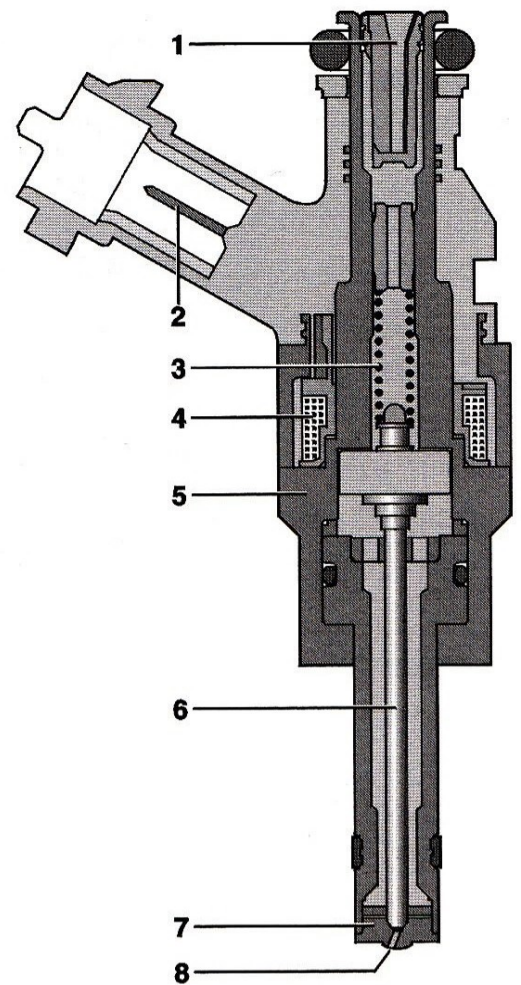
W celu dawkowania paliwa uzwojenie cewki napędowej jest zasilane impulsowo sygnałem masy przez sterownik silnika. Po podaniu napięcia zasilającego elektromagnes 4 unosi kotwicę magnetyczną 6 wraz z iglicą, przeciwdziałając sile sprężyny 5. Znajdujące się w zasobniku paliwo pod ciśnieniem dopływa do przewodu dolotowego wtryskiwacza, a następnie przez gniazdo 10 przedostaje się na zewnątrz. Kształt gniazda iglicy i kształt iglicy decydują o kształcie strumienia wtrysku. Szczelność wtryskiwacza w stanie beznapięciowym określa siła docisku sprężyny 5.

Podobnie jak wtryskiwacze układów wtrysku pośredniego działają wtryskiwacze przeznaczone do bezpośredniego wtrysku paliwa do komory spalania cylindrów silnika. Jedyną różnicą w budowie obu wtryskiwaczy jest kształt końcówki wtryskiwacza



Rys. 6.30. Budowa wtryskiwacza elektromagnetycznego niskociśnieniowego [47]

1 – króciec dopływu paliwa, 2 – pierścień uszczelniający, 3 – filtr siatkowy, 4 – cewka napędowa iglicy wtryskiwacza, 5 – sprężyna, 6 – iglica rozpylacza z kotwicą magnetyczną i kulą uszczelniającą, 7 – płytka iglicy rozpylacza, 8 – złącze elektryczne, 9 – obudowa wtryskiwacza, 10 – gniazdo iglicy rozpylacza



Rys. 6.31. Budowa wtryskiwacza wysokociśnieniowego [47]

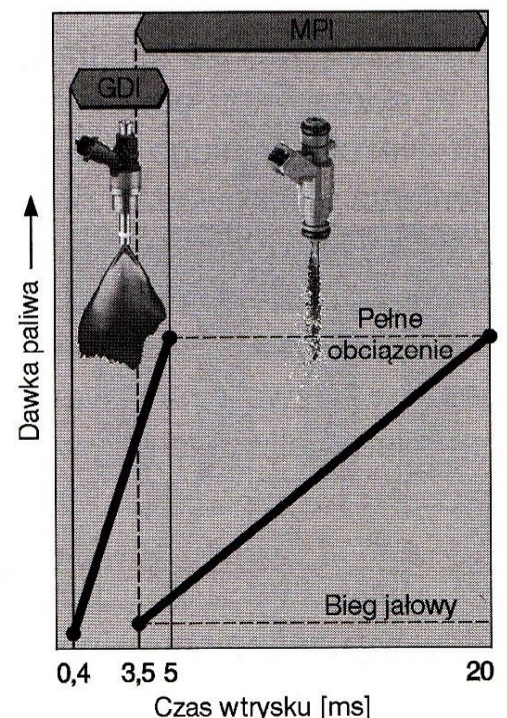
1 – wlot paliwa z filtrem siatkowym, 2 – złącze elektryczne, 3 – sprężyna, 4 – cewka napędowa iglicy, 5 – obudowa, 6 – iglica rozpylająca z kotwicą magnetyczną, 7 – gniazdo iglicy rozpylacza, 8 – kanałik rozpylacza

wysokiego ciśnienia znajdujące się podczas pracy wewnątrz cylindra silnika. Budowę wtryskiwacza wysokiego ciśnienia pokazano na rys. 6.31.

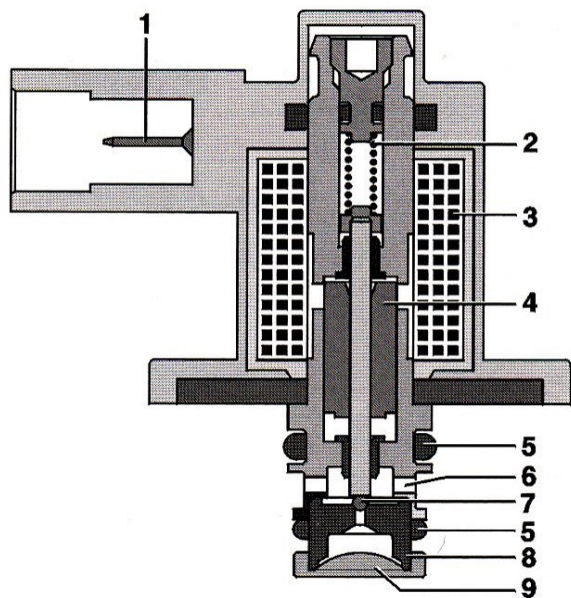
W porównaniu z układami wielopunktowego wtrysku pośredniego, w układach wysokociśnieniowego wtrysku bezpośredniego paliwo jest wtryskiwane szybciej, w krótszym czasie oraz dokładniej i ma lepiej ukształtowany strumień (rys. 6.32).

Dodatkowym podzespołem elektromechanicznym stosowanym w układach bezpośredniego wtrysku paliwa jest zawór regulacyjny, za pomocą którego sterownik silnika ustala ciśnienie w zasobniku paliwa (rys. 6.26). Zadaniem tego zaworu jest odprowadzenie nadmiaru paliwa z zasobnika do obwodu niskiego ciśnienia, gdy ciśnienie paliwa w zasobniku przekroczyło górną wartość dopuszczalną. Ze względu na przeznaczenie zawór regulacyjny jest włączony do paliwowego obwodu zasilającego między zasobnik paliwa oraz obwód niskiego ciśnienia. Budowę zaworu pokazano na rys. 6.33.

Zawór regulacyjny od strony otworu wlotowego 9 jest wkręcony w zasobnik paliwa. Po przekroczeniu dopuszczalnej wartości ciśnienia paliwa w zasobniku sterownik uruchamia zawór impulsowym sygnałem napięciowym, sterując cewką napędową 3 od strony masy, tzn. okresowo łączy jej koniec z masą. W czasie

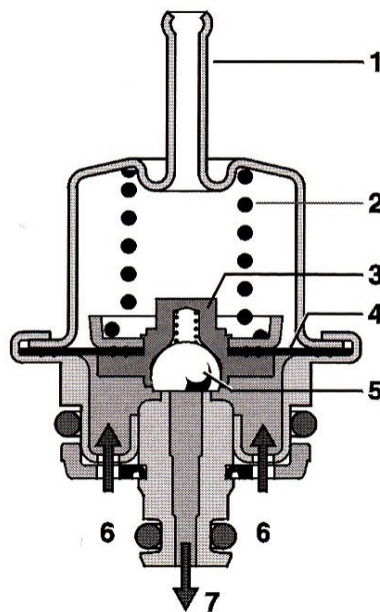


Rys. 6.32. Porównanie dawek paliwa wtrysku bezpośredniego (GDI) i wtrysku pośredniego (MPI) [47]



Rys. 6.33. Budowa zaworu regulacji ciśnienia [47]

1 – złącze elektryczne, 2 – sprężyna dociskowa,
3 – cewka napędowa, 4 – kotwica magnetyczna,
5 – okrągły pierścień uszczelniający, 6 – otwór
odpływowy, 7 – kulka zaworu, 8 – gniazdo zaworu,
9 – wlot z filtrem siatkowym



Rys. 6.34. Budowa regulatora ciśnienia paliwa [47]

1 – króciec połączony z kolektorem dolotowym,
2 – sprężyna dociskowa, 3 – podstawa zaworu,
4 – membrana, 5 – zawór kulowy, 6 – dopływ powietrza,
7 – odpływ nadmiaru paliwa

przepływu prądu przez cewkę jest unoszona kotwica magnetyczna 4, dociskająca w stanie bezprądowym kulkę 7 do gniazda 8 zaworu. Paliwo znajdujące się w zasobniku unosi kulkę zaworu, otwierając w ten sposób kanał przepływowy do otworu wylotowego 6 zaworu, który jest połączony przewodem odpływu paliwa z obwodem niskiego ciśnienia. Czas otwarcia zaworu regulacyjnego zależy od ciśnienia paliwa w zasobniku. Gdy wartość tego ciśnienia zmniejszy się do poziomu dopuszczalnego, sterownik silnika przerywa przepływ prądu przez cewkę napędową 4. Skutkiem zaniku prądu w cewce jest dociskanie kulki 7 do gniazda 8 zaworu przez kotwicę magnetyczną dociskaną sprężyną 2 do kulki.

W odróżnieniu od zaworu regulacyjnego z rys. 6.33, regulator ciśnienia układów wtrysku pośredniego (rys. 6.34) jest regulatorem mechanicznym sterowanym różnicą ciśnienia w przewodzie dopływu paliwa oraz ciśnienia odniesienia.

Regulator ciśnienia jest membranowym zaworem przelewowym, którego membrana 4 oddziela komorę paliwa 6 od komory powietrza ze sprężyną 2. Gdy ciśnienie paliwa przekroczy wartość dopuszczalną, gumowa membrana 4 jest unoszona przez paliwo i pozwala na otwarcie zaworu kulowego 5, udrażniającego kanał przepływu nadmiaru paliwa do przewodu odpływu paliwa dołączonego do króćca 7.

6.2.4. Układy wtrysku paliwa

Głównym zadaniem układu zasilania jest dopasowanie składu mieszanki paliwowo-powietrznej do zmieniających się warunków pracy silnika.

W starych modelach samochodów skład mieszanki był regulowany za pośrednictwem gaźnika. W przewodach dolotowych gaźnikowych układów zasilania występował rozdział składników mieszanki na skutek kondensacji paliwa na ścianach tych

przewodów. Dlatego dostarczenie do najgorzej zasilanego cylindra mieszanki o odpowiednim składzie wymagało odpowiedniego jej wzbogacenia w gaźniku. Tym samym gaźnikowe systemy zasilania nie spełniały wymagań w zakresie emisji szkodliwych składników spalin oraz ekonomicznej eksploatacji pojazdów.

Przedstawionej wady nie mają wtryskowe układy zasilania. W układach tych mieszanka paliwowo-powietrzna powstaje w pobliżu zaworu wlotowego każdego cylindra i dlatego do wszystkich cylindrów jest dostarczana mieszanka o takim samym składzie. Niekorzystne zjawiska występujące w układach gaźnikowych wyeliminowano przez odpowiednie wyprofilowanie przewodów dolotowych. Pozwoliło to na uzyskanie równomiernego rozdziału powietrza między poszczególne cylindry silnika i lepsze napełnianie cylindrów. Dzięki temu silniki z wtryskowym układem zasilania mają większy moment obrotowy, efektywniej wykorzystują paliwo oraz emitują mniej szkodliwych składników.

Początkowo w silnikach spalinowych o zapłonie iskrowym stosowano wtryskowe układy elektromechaniczne K-Jetronic i KE-Jetronic o działaniu ciągłym. Rozwój techniki mikroprocesorowej spowodował, że układy zasilania z wtryskiem ciągłym zastąpiono układami z wtryskiem przerywanym. Większość pojazdów z silnikiem ZI jest obecnie wyposażona w układy wtrysku przerywanego L-Jetronic oraz Motronic.

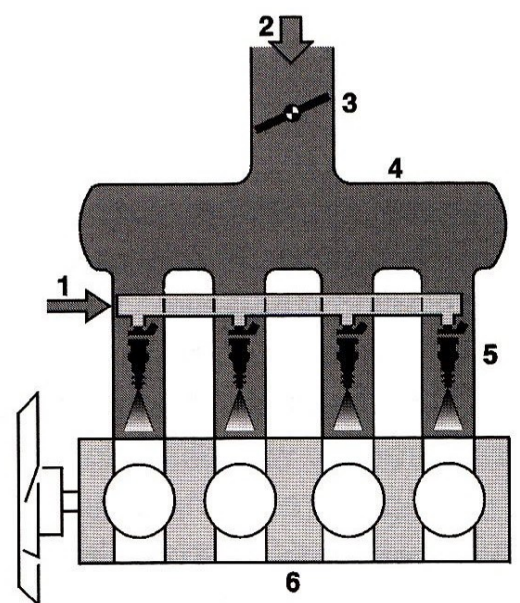
6.2.4.1. Układ L-Jetronic

W układach L-Jetronic (LU-, LE- i LH-Jetronic) podstawowym parametrem określającym ilość paliwa dostarczanego impulsowo do cylindrów silnika jest ilość zasysanego powietrza. Nazwę układu określa niemieckie słowo *Luft* (powietrze).

Układ L-Jetronic jest pośrednim układem wtryskowym wielopunktowym (ang. MPI – *Multi Point Injection*) i ma po jednym wtryskiwaczu na każdy cylinder (rys. 6.35). W układzie tym ilość paliwa wtryskiwanego do przewodu dolotowego jest określona czasem otwarcia wtryskiwaczy, przy znanej wartości ciśnienia paliwa w przewodach przed wtryskiwaczami. Działanie układu wyjaśnia schemat funkcjonalny przedstawiony na rys. 6.36.

W układzie L-Jetronic paliwo do zasobnika paliwa 4, do którego są dołączone wtryskiwacze robocze 9, jest podawane przez pompę paliwa 2 ze zbiornika 1 za pośrednictwem filtra 3. Ciśnienie paliwa w zasobniku 4 jest utrzymywane na stałym poziomie przez regulator 5. Wartość tego ciśnienia zależy od ciśnienia w kolektorze dolotowym 10 i dlatego regulator 5 jest połączony z tym kolektorem przewodem pneumatycznym. Nadmiar paliwa z zasobnika 4 jest odprowadzany do zbiornika 1 przez regulator ciśnienia 5.

Wtryskiwacze robocze 8 są otwierane przez sterownik silnika 7 na czas zależny od prędkości obrotowej silnika, ilości i temperatury zasysanego przez kolektor dolotowy powietrza, od położenia przepust-



Rys. 6.35. Układ wielopunktowego wtrysku pośredniego [47]

1 – paliwo, 2 – powietrze,
3 – przepustnica, 4 – kolektor dolotowy,
5 – wtryskiwacze paliwa, 6 – silnik



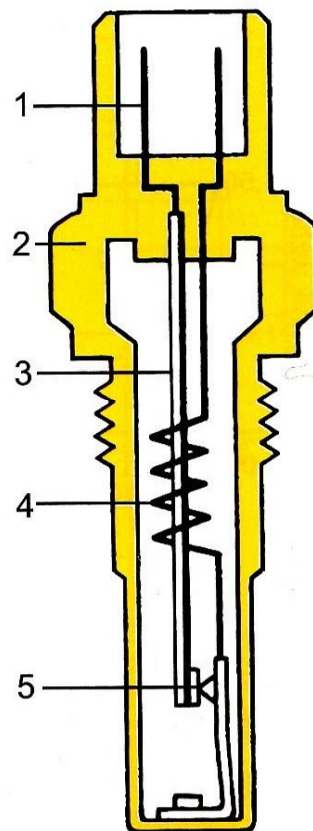
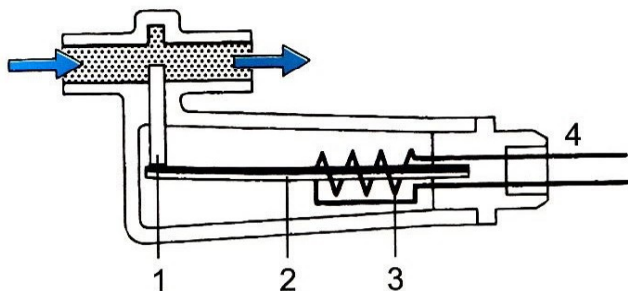
1 – zbiornik paliwa, 2 – elektryczna pompa paliwa, 3 – filtr paliwa, 4 – zasobnik paliwa, 5 – regulator ciśnienia paliwa, 6 – przepływomierz paliwa z tarczą spiętrającą (6a), 7 – sterownik silnika (ECU), 8 – czujnik temperatury, 9 – wtryskiwacz roboczy, 10 – zbiorczy kolektor dolotowy, 11 – wtryskiwacz rozruchowy, 12 – przepustnica z elektrycznym łącznikiem mechanicznym (12a), 13 – zawór suwakowy powietrza dodatkowego, 14 – wyłącznik termiczno-czasowy, 15 – rozdzielacz zapłonu, 16 – zespół przełączników, 17 – stacyjka (wyłącznik zapłonu i rozruchu), 18 – akumulator

W celu ułatwienia rozruchu zimnego silnika jest uruchamiany wtryskiwacz rozruchowy 11. Do uruchamiania tego wtryskiwacza jest przeznaczony czasowy wyłącznik termiczny 14 wkręcony w kadłub silnika. Budowę tego wyłącznika wyjaśniono na rys. 6.37.

Podczas rozruchu zimnego silnika uzwojenie cewki napędowej wtryskiwacza rozruchowego 11 jest zasilane pełnym napięciem instalacji pojazdu przez zamknięty zestyk roboczy 5 wyłącznika termiczno-czasowego. W tym samym czasie płynie prąd przez uzwojenie nagrzewające 4 sprężysty element bimetalowy 3 połączony mechanicznie z zestykiem roboczym 5. Po zakończeniu fazy rozruchu element bimetalowy otwiera ten zestyk i pozostaje w tym stanie, ponieważ bimetal jest nagrzewany przez korpus pracującego silnika.

Rys. 6.37. Budowa wyłącznika termiczno-czasowego [18]

1 – złącze prądowe, 2 – obudowa z gwintem, 3 – element bimetaliczny, 4 – uzwojenie nagrzewające, 5 – zestyk roboczy



Rys. 6.38. Zawór suwakowy powietrza dodatkowego [18]

1 – suwak obrotowy (przesłona), 2 – napędowy element bimetalowy, 3 – uzwojenie nagrzewające, 4 – złącza elektryczne

Przy prędkości obrotowej biegu jałowego do wzbogacania mieszanki jest stosowany zawór suwakowy powietrza dodatkowego 13 (rys. 6.36) działający w sposób pokazany na rys. 6.38.

Zawór powietrza dodatkowego jest przeznaczony do zwiększania ilości powietrza oraz dawki paliwa w trakcie rozruchu zimnego silnika oraz przy prędkości obrotowej biegu jałowego, w celu skompensowania zwiększonych oporów tarcia.

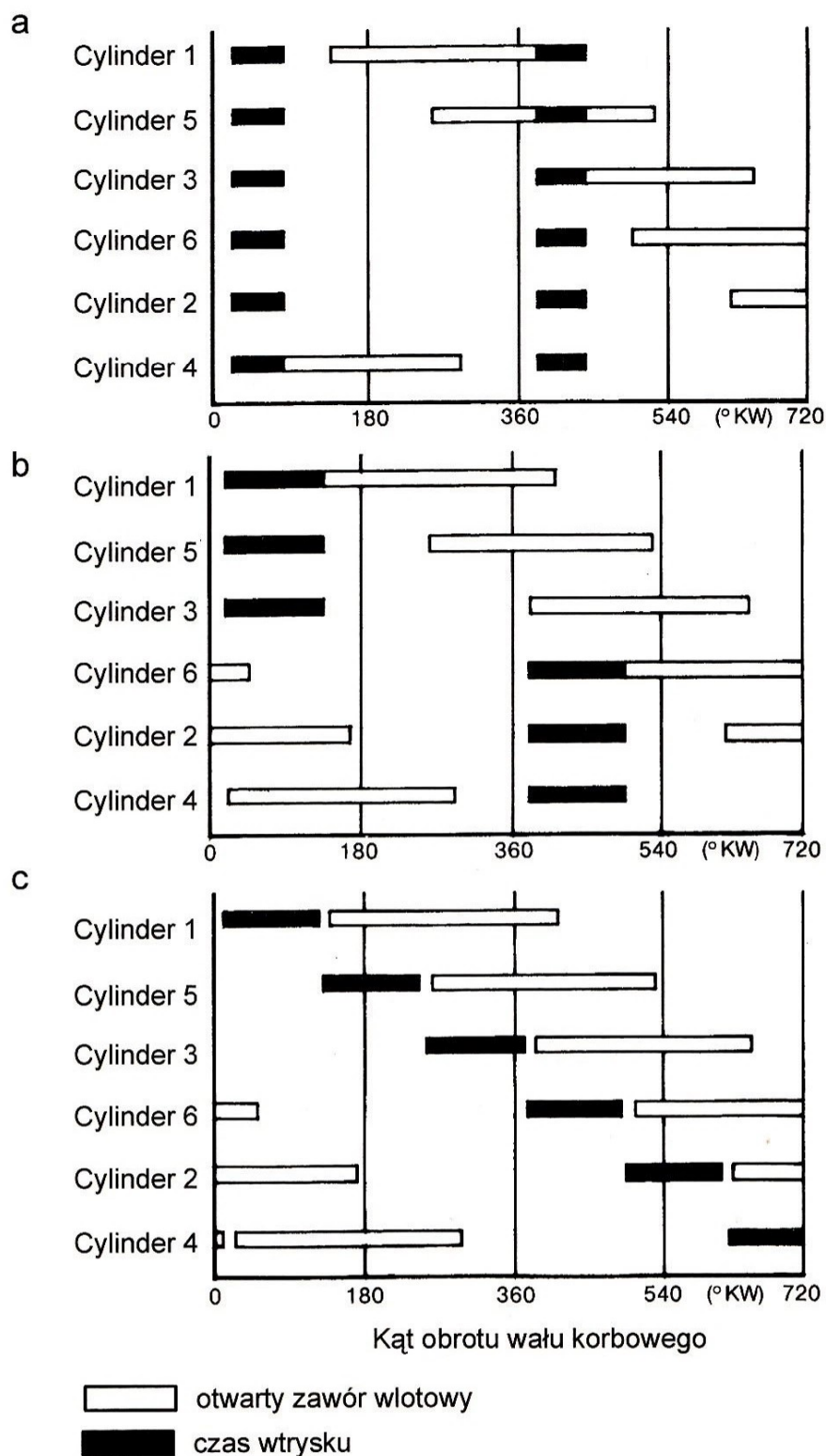
Zawór jest umieszczony w pobliżu silnika, tak aby był nagrzewany przez jego kadłub. W fazie rozruchu do nagrzewania elementu bimetalowego 2 zaworu jest przeznaczone uzwojenie nagrzewające 3 (rys. 6.38).

Po nagraniu silnika obejściowy kanał powietrza dodatkowego bocznikujący przepustnicę 12 (rys. 6.36) jest zamykany przez suwak 1, utrzymywany w tym stanie przez nagrany element bimetalowy 2 (rys. 6.38).

W nowszych rozwiązaniach układu L-Jetronic (wersje LH, LE i LU) rolę wyłącznika termiczno-czasowego przejął sterownik silnika oraz wtryskiwacze robocze i został wyeliminowany wtryskiwacz rozruchowy. W układach tych zamiast zaworu powietrza dodatkowego zastosowano nastawnik biegu jałowego sterowany sterownikiem silnika współpracującym z czujnikiem temperatury cieczy chłodzącej.

W pierwszym rozwiązaniu sterowania układu L-Jetronic straty kondensacyjne paliwa występujące podczas rozruchu zimnego silnika kompensowano za pomocą wtryskiwacza rozruchowego. Nowe rozwiązanie tego sterowania wykorzystuje podprogram **zimnego rozruchu** sterujący wtryskiwaczami roboczymi. Podprogram ten jest uruchamiany, gdy temperatura cieczy chłodzącej jest zbyt niska.

Temperatura cieczy chłodzącej decyduje również o wzbogacaniu mieszanki przy **zwiększonej prędkości obrotowej biegu jałowego**. Podprogram zwiększający prędkość obrotową biegu jałowego ogranicza w czasie proces wzbogacania mieszanki, odpowiednio do zwiększającej się temperatury cieczy chłodzącej. Realizacja



Rys. 6.40. Diagramy czasowe układów wtryskowych: wtrysk jednoczesny (a), wtrysk półsekwencyjny (b), wtrysk sekwencyjny (c) [18]

Schemat połączenia elektrycznych i elektronicznych podzespołów układów Bosch L-Jetronic przedstawiono na rys. 6.41. Opis sygnałów występujących na poszczególnych stykach (pinach) złącza sterownika silnika zawiera tabela 6.1. W tabeli tej podano również sposób sprawdzenia wartości tych sygnałów.

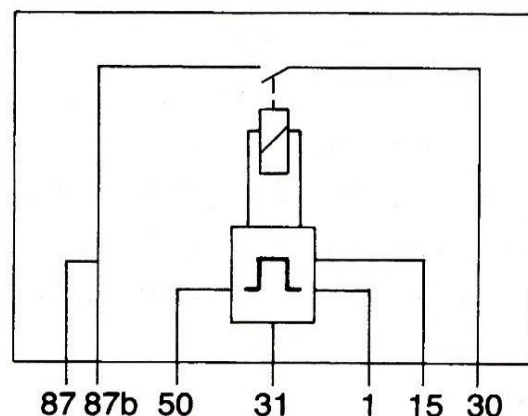
Dla uproszczenia na rys. 6.41 w układzie elektrycznym systemu sterującego L-Jetronic nie uwzględniono sondy lambda, której istnienie jest niezbędne do prawidłowego funkcjonowania tego układu. Na rysunku tym nie przedstawiono również ciśnieniowego czujnika wysokości n.p.m., którego sygnał wyjściowy jest dołączony do styku 11. Na podstawie wartości tego sygnału sterownik wylicza poprawki korekcyjne do wyznaczania ilości zasysanego przez silnik powietrza, odpowiednio do wysokości nad poziomem morza.

Sygnały na stykach złącza sterownika silnika – układ L-Jetronic [18]

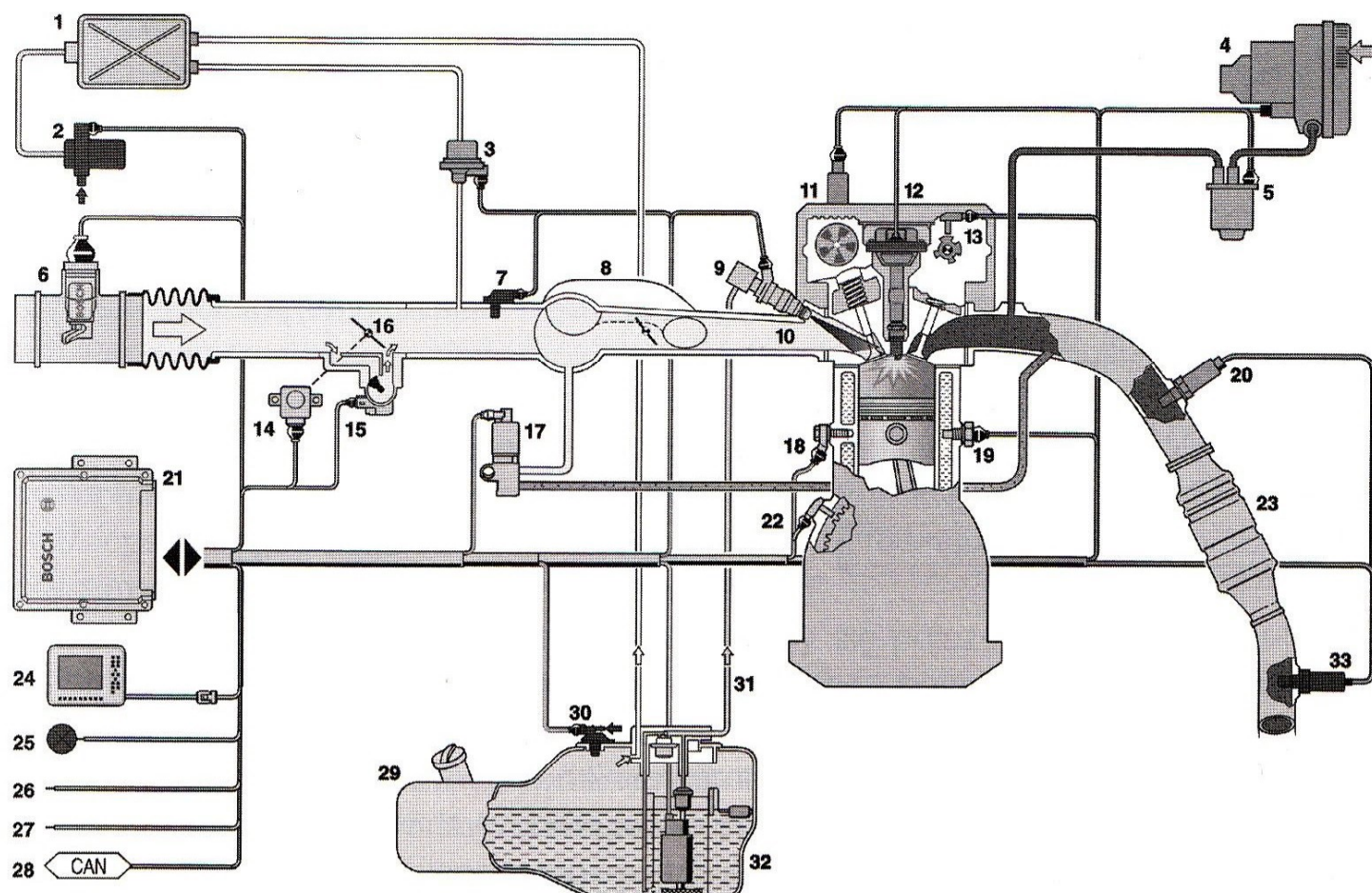
Nr styku	Funkcja styku – rodzaj sygnału
1	Sygnał na zacisku 1 uruchamiający przełącznik sterujący. Sprawdzenie przez pomiar czasu zwarcia styku przełącznika sterującego lub czasu trwania napięciowego sygnału impulsowego.
2	Wartość napięcia akumulatora przy zwartym styku biegu jałowego czujnika przepustnicy. Pomiar wartości tego napięcia.
3	Wartość napięcia akumulatora przy zamkniętym styku pełnego otwarcia przepustnicy. Pomiar wartości tego napięcia.
4	Wartość napięcia akumulatora w trakcie rozruchu silnika występująca na zacisku 50. Pomiar wartości tego napięcia.
5	Masa. Sprawdzenie ciągłości odpowiedniego przewodu przez pomiar jego rezystancji.
7	Wartość napięcia wyjściowego w zakresie 1...10 V na suwaku potencjometru przepływomierza z klapą spiętrzącą. Warunkiem występowania na styku 7 takiego napięcia jest dołączenie do styku 8 przepływomierza napięcia zasilającego o wartości 12 V. Pomiar wartości napięć na obu stykach.
8	Wartość napięcia w zakresie 8...10 V na rezystorze kompensacyjnym NTC (kompensacja termiczna) przepływomierza. Pomiar wartości tego napięcia.
9	Napięcie zasilające akumulatora dostarczane po zamknięciu styku przełącznika sterującego. Pomiar wartości tego napięcia.
10	Napięcie zasilające (12 V) rezystor NTC przepływomierza. W celu sprawdzenia tego opornika należy odłączyć wtyk od sterownika silnika i sprawdzić rezystancję między stykiem 10 i masą. W temperaturze otoczenia równej 20°C rezystancja powinna mieć wartość $2,5 \text{ k}\Omega \pm 10\%$.
12, 24	Sygnały impulsowe uruchamiające wtryskiwacze. Pomiar wypełnienia impulsów napięciowych o wartości szczytowej równej ok. 12 V. Wypełnienie tych impulsów, w zależności od obciążenia silnika, zmienia się od 3% (dla biegu jałowego) do 99% przy pełnym obciążeniu.
13, 25	Masa. Pomiar ciągłości odpowiednich przewodów przez sprawdzenie ich rezystancji.
6, 11, 14–23	Styki niewykorzystane.

zacisku 87 są zasilane wtryskiwacze. Do zacisku 87b jest dołączona pompa paliwa (rys. 6.41). Zacisk 31 impulsowego układu wzbudzającego jest zaciskiem masy. Do zacisku 15 przełącznika jest dołączony zacisk 15 instalacji elektrycznej, łączony z plusem akumulatora po przekręceniu kluczyka stacyjki. Za pośrednictwem zacisku 50 układu wzbudzającego sterownik silnika jest informowany o zakończeniu rozruchu silnika. Do inicjowania pracy przełącznika, tzn. do zamknięcia styku roboczego, jest niezbędny napięciowy sygnał impulsowy na zacisku 1 przełącznika.

W układach wtryskowych nowej generacji są stosowane sterowniki z pamięcią diagnostyczną, w której są zapisywane kody usterek wykrytych przez pokładowy system diagnostyczny (OBD). W starszych sterownikach funkcję takiej pamięci



Rys. 6.42. Układ elektryczny przełącznika sterującego (bezpieczeństwa) [18]



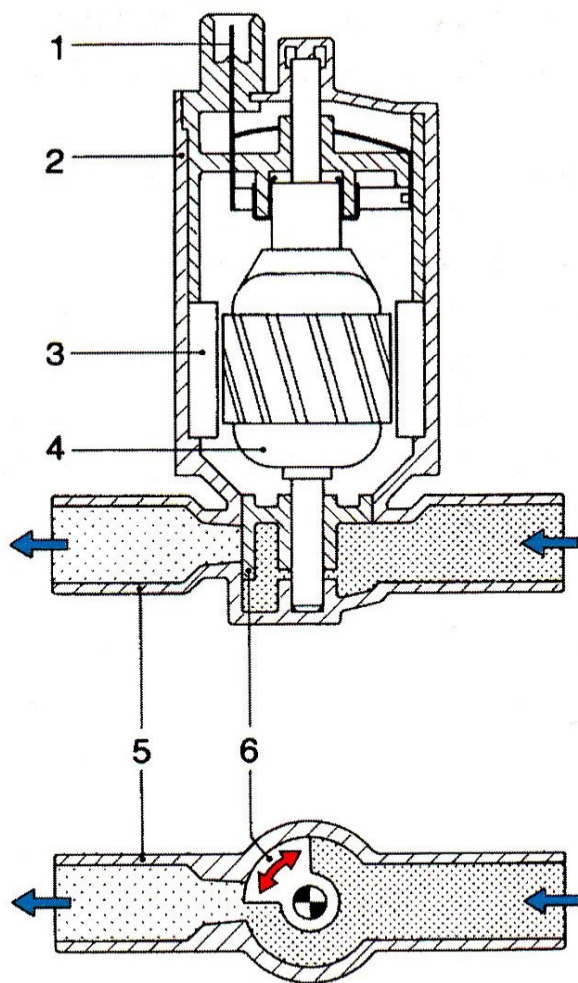
Rys. 6.44. Schemat funkcjonalny systemu Motronic [48]

1 – pochłaniacz z węglem aktywowanym, 2 – zawór regulacyjny, 3 – zawór regeneracyjny, 4 – pompa powietrza dodatkowego, 5 – zawór powietrza dodatkowego, 6 – masowy przepływomierz powietrza z czujnikiem temperatury, 7 – czujnik ciśnienia powietrza w kolektorze dolotowym, 8 – kolektor dolotowy o zmiennym przekroju z przestawną przesłoną elektromechaniczną, 9 – zasobnik paliwa, 10 – wtryskiwacz, 11 – urządzenia wykonawcze z czujnikami położenia wałka rozrządu, 12 – świeca zapłonowa z nasadzaną cewką zapłonową, 13 – czujnik fazowego położenia wałka krzywkowego, 14 – czujnik położenia przepustnicy, 15 – nastawnik biegu jałowego, 16 – przepustnica, 17 – zawór recyrkulacji spalin, 18 – czujnik spalania stukowego, 19 – czujnik temperatury silnika, 20 – sonda λ przed katalizatorem, 21 – sterownik silnika, 22 – czujnik prędkości obrotowej wału korbowego, 23 – katalizator trójfunkcyjny, 24 – gniazdo złącza diagnostycznego, 25 – kontrolki diagnostyczne, 26 – złącze sterownika immobilizera blokującego pracę silnika, 27 – złącze sterownika skrzynki przekładniowej, 28 – złącze magistrali CAN, 29 – zbiornik paliwa, 30 – czujnik ciśnienia powietrza w zbiorniku paliwa, 31 – przewód paliwa, 32 – zespół (moduł) paliwowy z elektryczną pompą paliwa, filtrem paliwa i regulatorem ciśnienia paliwa, 33 – sonda λ za katalizatorem

cującego z uzębionym wieńcem koła impulsowego umieszczonego na wale korbowym. Czujnik ten dostarcza informacji o prędkości obrotowej silnika oraz o położeniu tłoka pierwszego cylindra. Takie informacje można również uzyskać za pośrednictwem czujnika współdziałającego z uzębionym wieńcem tarczy zabierakowej stosowanej w pojazdach z automatyczną skrzynką przekładniową.

W układach wtrysku pośredniego Motronic, w zależności od rodzaju sterowania, do oceny ilości powietrza dostarczanego do silnika są stosowane przepływomierze: masowe z przesłoną spiętrzającą (LMM), z termooanemometrem drutowym (HLM) lub z termooanemometrem warstwowym (HMM).

Układy wtryskowe Motronic, podobnie jak inne układy sterujące pośrednim wtryskiem paliwa, mają możliwość regulacji prędkości obrotowej biegu jałowego. Sterownik silnika rozpoznaje ten stan pracy silnika najczęściej za pośrednictwem zwarłego zestyku biegu jałowego czujnika położenia przepustnicy. Po otrzymaniu takiego



Rys. 6.45. Elektromechaniczny obrotowy nastawnik prędkości biegu jałowego [18]

1 – złącze elektryczne, 2 – korpus metalowy,
3 – magnes stały, 4 – wirnik z uzwojeniem,
5 – kanał bocznikujący przepustnicę (by-pass),
6 – obrotowa przesłona

sygnału odpowiednio do temperatury silnika ustawia przepływ powietrza w kanale bocznikującym (by-pass) kolektor główny. Do regulacji ilości powietrza dostarczanego do silnika służy elektromechaniczny obrotowy nastawnik prędkości biegu jałowego 15 (rys. 6.44), którego budowę i działanie wyjaśniono na rys. 6.45.

Kąt uchylenia przesłony 6 zaślepiającej by-pass zależy od wypełnienia (czasu trwania) impulsów prądowych przepływających przez uzwojenia wirnika 4 silnika napędowego. Wypełnienie tych impulsów ustala sterownik silnika przez porównanie aktualnej prędkości obrotowej biegu jałowego z wartością zadaną, zapisaną w pamięci. Podprogram sterujący pracą silnika pozwala na zmianę wypełnienia impulsów prądowych w zakresie 20...80%. Dla silnika rozgrzanego przekrój czynny kanału bocznikującego przepustnicę ma wartość minimalną, a wypełnienie impulsów prądowych płynących przez uzwojenie wirnika silnika napędowego ma wartość ok. 25%.

Regulacja przekroju czynnego kanału bocznikującego przepustnicę jest stosowana również w trakcie rozruchu zimnego silnika oraz przy jego dużych obciążeniach. W takim przy-

padku przekrój czynny kanału jest maksymalny, ponieważ szerokość impulsów prądowych płynących przez silnik jest zbliżona do 80%.

Oprócz regulacji prędkości obrotowej biegu jałowego w układach Motronic jest stosowane przestawianie wałka rozrządu silnika, dopasowujące kąty faz rozrządu zaworów dolotowych i kąty faz rozrządu zaworów wylotowych. Opóźnienie otwarcia zaworów dolotowych przy prędkościach obrotowych silnika mniejszych niż 2000 obr/min powoduje zmniejszenie ilości paliwa doprowadzanego do cylindrów, poprawia przebieg spalania i korzystnie wpływa na równomierność pracy silnika na biegu jałowym. Pozwala to na zmniejszenie prędkości obrotowej biegu jałowego i zmniejsza zużycie paliwa.

Dzięki zmiennym fazom rozrządu przy dużych prędkościach obrotowych, większych niż 5000 obr/min, zawory dolotowe są zamykane z opóźnieniem. Skutkuje to lepszym napełnianiem cylindrów spowodowanym doładowaniem dynamicznym. Dzięki temu silnik nie traci właściwości dynamicznych oraz następuje optymalne wykorzystanie mieszanki paliwowo-powietrznej.

Do przestawiania wałków rozrządu zaworów dolotowych i wylotowych są stosowane bezstopniowe napędy hydrauliczne lub elektrohydrauliczne.

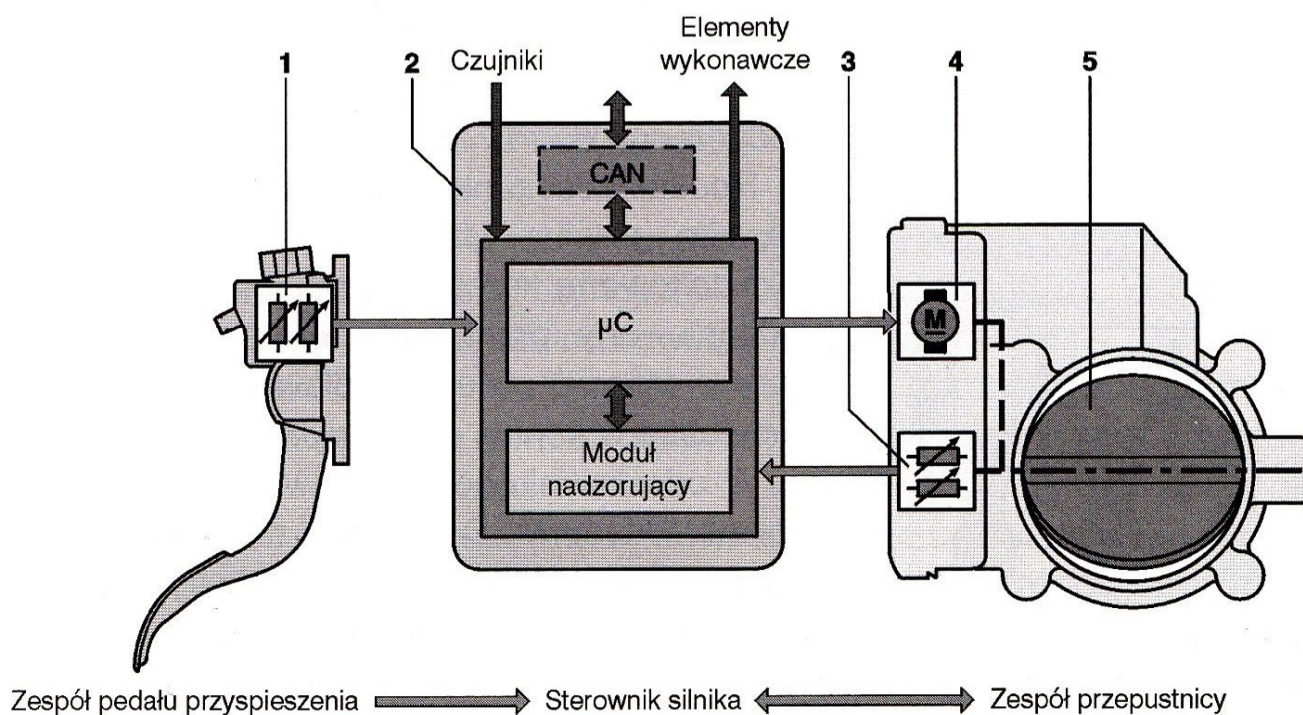
W celu zabezpieczenia przed przedostawaniem się par paliwa ze zbiornika 32 (rys. 6.44) do otoczenia, w układzie Motronic zastosowano specjalny obwód z pochłaniaczem 1 z węgla aktywowanego (rys. 6.44).

Pary zgromadzone w zbiorniku nad lustrem paliwa nie mogą wydostać się na zewnątrz i dlatego przewodem pneumatycznym są doprowadzone do pochłaniacza 1, który odfiltrowuje z nich paliwo. Następnie paliwo z węgla aktywowanego pochłaniacza jest odsysane podciśnieniowo przez powietrze doprowadzone z kolektora dolotowego przez sterowany impulsowo sterownik silnika zaworu regulacyjnego 2. Ilość doprowadzonego do pochłaniacza powietrza zależy od stopnia otwarcia zaworu. Mieszanka paliwowo-powietrzna powstająca w pochłaniaczu, jest przekazywana do zasobnika paliwa 9 za pośrednictwem zaworu regeneracyjnego 3.

Recyrkulację spalin oraz turbodoładowanie, które również wykorzystuje układ Motronic, opisano w następnym podrozdziale.

Od 1994 r. na rynku samochodowym pojawiły się pojazdy wyposażone w układ ME-Motronic. Cechą charakterystyczną tego układu była przepustnica sterowana elektrycznie oraz elektroniczny pedał przyspieszenia (EGAS) połączony przewodami elektrycznymi z siłownikiem napędowym przepustnicy (rys. 6.46).

W układzie z rys. 6.46 położenie przepustnicy jest określone położeniem pedału przyspieszenia identyfikowanym za pomocą czujnika 1 z dwoma przeciwbieżnymi potencjometrami. Sygnał wyjściowy tego czujnika jest przekazywany do sterownika silnika 2, który po uwzględnieniu aktualnego stanu pracy silnika wyznacza odpowiednie otwarcie przepustnicy. Otwarcie to jest odwzorowane w sygnale przekazywanym do nastawnika przepustnicy 4, którym jest silnik prądu stałego obracający przepustnicę 5 w odpowiednim kierunku. W celu uzyskania wymaganego położenia przepustnicy na jej wale jest umieszczony czujnik 3. Czujnik ten, podobnie jak czujnik położenia pedału przyspieszenia, tworzą dwa przeciwbieżne potencjometry.



Rys. 6.46. Układ elektronicznego pedału przyspieszenia (EGAS) [47]

1 – czujnik pedału przyspieszenia, 2 – sterownik silnika, 3 – czujnik położenia przepustnicy, 4 – silnik prądu stałego pełniący funkcję nastawnika przepustnicy, 5 – przepustnica

Przepustnica 5 jest przemieszczana przez nastawnik 4 do chwili, w której sygnały wyjściowe czujnika 3 oraz czujnika 1 położenia pedału przyspieszenia przyjmą zgodne wartości.

Zastosowanie układu elektronicznego pedału przyspieszenia pozwala na spełnienie wymagań dotyczących czystości spalin oraz pozwala na zastosowanie układu ESP przejmującego kontrolę nad pojazdem, gdy w wyniku poślizgu zaczyna on obracać się wokół osi pionowej.

Kolejną wersją układu Motronic jest MED-Motronic, sterujący bezpośrednim wtryskiem benzyny oznaczanym skrótem GDI (ang. *Gasoline Direct Injection*). W układzie tym paliwo pod wysokim ciśnieniem jest wtryskiwane bezpośrednio do komory spalania każdego cylindra za pośrednictwem wtryskiwacza sterowanego przez sterownik silnika (rys. 6.47).

Ze względu na konieczność wytworzenia wysokiego ciśnienia w układzie zasilającym GDI, oprócz pompy niskociśnieniowej (0,3...0,5 MPa) znajdującej się w zbiorniku paliwa, w pobliżu zasobnika paliwa zasilającego bezpośrednio wtryskiwacze jest zamontowana pompa wysokiego ciśnienia 5...12 MPa (rys. 6.26).

W zależności od warunków pracy silnika i zapotrzebowania na moment obrotowy, silniki z bezpośrednim wtryskiem benzyny mogą pracować w różnych trybach pracy określonych rodzajem mieszanki powstającej w komorze spalania cylindrów. Zmiana rodzaju mieszanki następuje podczas jazdy bezstopniowo, bez uskoju (nieciągłości) momentu obrotowego i dlatego jest niezauważana przez kierowcę.

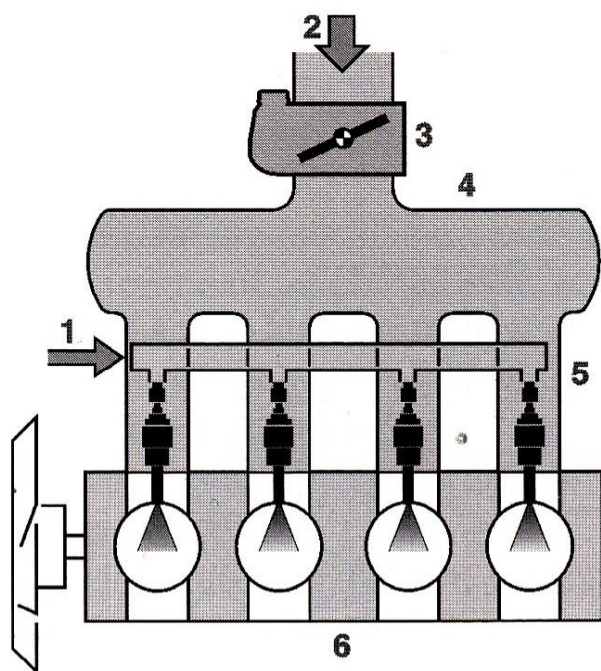
Silniki z wtryskiem bezpośrednim mogą pracować na kilku rodzajach mieszanek określonych parametrami ich pracy.

Jeśli silnik jest częściowo obciążony i prędkość obrotowa nie przekracza 3000 obr/min, to w komorze spalania powstaje mieszanka uwarstwiona o największej gęstości skupionej w pobliżu świecy zapłonowej.

Natomiast przy dużej prędkości i dużym momencie obrotowym cała przestrzeń komory spalania jest wypełniona mieszanką jednorodną o $\lambda=1$.

Rodzaj mieszanki wtryskiwanej do silnika określa chwila wtrysku oraz odpowiednio ukształtowana komora spalania, odpowiednio zdefiniowany przepływ powietrza w tej komorze oraz odpowiednie zdławienie przepływu powietrza w kanale dolotowym.

W odróżnieniu od układu ME-Motronic sterownik układu MED-Motronic musi realizować więcej funkcji. Jedną z takich funkcji jest ciągła regulacja ciśnienia wtryskiwanego paliwa. Druga funkcja to regeneracja katalizatora magazynującego NO_x (tlenki azotu), którego działanie jest paraliżowane przez dwutlenek siarki będący produktem spalania paliwa zanie-



Rys. 6.47. Układ wielopunktowego bezpośredniego wtrysku benzyny [47]

1 – paliwo, 2 – powietrze, 3 – przepustnica sterowana elektronicznie (EGAS), 4 – kolektor dolotowy, 5 – wtryskiwacze paliwa, 6 – silnik

czyszczonego siarką. W celu regeneracji katalizatora sterownik okresowo inicjuje pracę silnika z mieszanką homogeniczną. Kolejną funkcją jest uruchamianie obwodu recyrkulacji spalin w czasie pracy z mieszanką uwarstwowaną, z dużym nadmiarem powietrza, podczas której powstaje duża ilość tlenków azotu. Zawrócenie (recyrkulacja) spalin obniża temperaturę spalania i zmniejsza emisję NO_x . Ponadto sterownik układu MED-Motronic inicjuje doładowanie silnika. Dwie ostatnie z wymienionych funkcji sterownika opisano w następnym podrozdziale.

6.2.4.3. Recyrkulacja spalin i doładowanie silnika

Recyrkulacja spalin jest jednym ze sposobów zmniejszenia zanieczyszczeń, powstających w nich w procesie spalania ubogiej w tlen mieszanki paliwowo-powietrznej w silnikach ZI. W wyniku recyrkulacji spalin następuje obniżenie emisji tlenków azotu NO_x przez obniżenie temperatury spalania mieszanki oraz zmniejszenie zawartości HC w spalinach przez ich utlenienie.

Pierwszym sposobem zmiany ilości masy reszty spalin pozostających w cylindrze oraz udziału gazów obojętnych w napełnianiu cylindra jest odpowiednie sterowanie zmianą faz rozrządu. Jest to recyrkulacja wewnętrzna.

Bardziej skutecznym sposobem zmniejszenia emisji tlenków azotu jest skierowanie do przewodu dolotowego części spalin, które opuściły cylinder. W tym celu łączy się kolektor wylotowy z kolektorem dolotowym za pomocą zaworu recyrkulacyjnego 17 EGR (ang. *Exhaust Gas Recirculation*) (rys. 6.44) o zmiennym przekroju czynnym. Przekrój ten jest zmieniany przez czujnik elektropneumatyczny, którego nastawnik ciśnieniowy jest sterowany sygnałem o modulowanej szerokości impulsów (modulacja PWM) przez sterownik silnika.

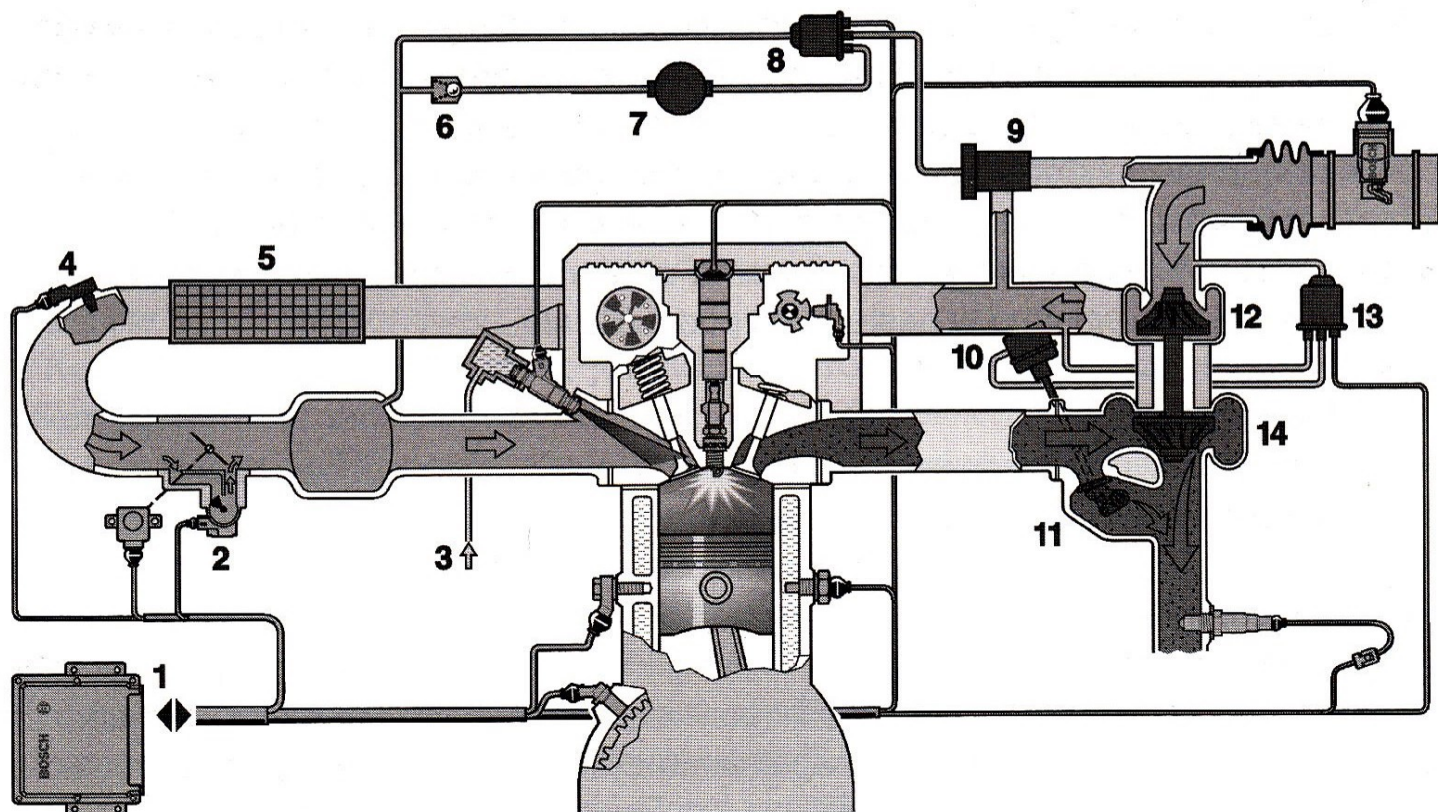
W nowszych rozwiązaniach zaworów recyrkulacyjnych jest stosowane sterowanie bezpośrednie, w którym położenie zaworu jest ustalane za pomocą pętli sprzężenia zwrotnego z potencjometrycznym czujnikiem położenia obrotowej przesłony zaworu.

Intensywność recyrkulacji spalin zależy przede wszystkim od stanu działania i termicznych warunków pracy silnika. Nadmierne otwarcie zaworu EGR może być przyczyną wydłużenia zwłoki spalania, czego skutkiem jest wypadanie zapłonów oraz nierównomierna praca silnika.

Maksymalną wartość momentu obrotowego silnika ZI można zwiększyć przez zwiększenie udziału świeżego czynnika w napełnianiu cylindrów. W tym celu należy podwyższyć ciśnienie powietrza przed wlotem do cylindra.

Wymianę ładunku można zwiększyć nie tylko za pomocą odpowiedniego sterowania fazami rozrządu, ale również przez odpowiedni dobór przewodów dolotowych lub za pomocą turbosprężarki.

Dobór długości i przekroju przewodów dolotowych powoduje, że fala ciśnienia wzbudzana ruchem tłoka przy otwartym zaworze dolotowym dociera do nieruchomego powietrza przy wlocie przewodu dolotowego i po odbiciu powraca do zaworu dolotowego. Dzięki temu wzrost ciśnienia powietrza występujący przy tym zaworze może być wykorzystany do poprawy napełniania cylindrów świeżym ładunkiem. Taki sposób doładowania ze względu na wykorzystanie dynamiki przepływu powietrza nosi nazwę doładowania dynamicznego.



Rys. 6.48. Zasada działania turbosprężarki [48]

1 – sterownik silnika, 2 – przepustnica z czujnikiem położenia i nastawnikiem biegu jałowego, 3 – przewód paliwowy, 4 – czujniki ciśnienia i temperatury powietrza dolotowego, 5 – chłodnica powietrza dolotowego, 6 – zawór zwrotny, 7 – pojemnik podciśnieniowy, 8 – zawór impulsowy elektromagnetyczny, 9 – zawór obwodu obejściowego (dump value), 10 – zawór regulacji ciśnienia doładowania, 11 – zawór upustowy (by-pass), 12 – wirnik turbosprężarki sprężający powietrze dolotowe, 13 – zawór elektromagnetyczny impulsowy, 14 – turbina napędzana spalinami

Bardziej skutecznym sposobem doładowania silników ZI, a więc i zwiększenia momentu obrotowego, jest zastosowanie turbosprężarki napędzanej spalinami. Sposób funkcjonowania turbosprężarki wyjaśniono na rys. 6.48.

Turbosprężarka jest dołączona do przewodów wylotowych, tak aby spaliny napędzały turbinę 14. Na wspólnej osi z turbiną napędową jest umieszczony wirnik sprężarki 12 sprężający powietrze dopływające do cylindrów. Zwiększenie ciśnienia tego powietrza polepsza wymianę ładunku w cylindrach, czego skutkiem jest zwiększenie momentu obrotowego silnika.

W czasie sprężania powietrze dolotowe jest nagrzewane. W celu zminimalizowania negatywnych skutków zmniejszenia gęstości nagrzanego powietrza w układzie dolotowym między turbiną 12 i cylindrem jest umieszczona specjalna chłodnica 5 – rys. 6.48. Chłodzenie sprężonego powietrza zwiększa napełnianie cylindrów, co powoduje zwiększenie momentu obrotowego silnika.

Zamknięcie przepustnicy 2 nie jest równoznaczne z natychmiastowym zahamowaniem przepływu strumienia powietrza przez obwód sprężający turbosprężarki. Gdyby w układzie turbosprężarki nie był zastosowany obwód by-pass bocznikujący sprężarkę 12, uruchamiany zaworem przesuwным 9, wówczas oscylujący gwałtownie spowolniony strumień powietrza dolotowego w kontakcie z rozpędzonym wirnikiem sprężarki 12 mógłby doprowadzić do jej uszkodzenia.

Przy dużej prędkości obrotowej silnika, gdy zapotrzebowanie na moment napędowy jest największe, z silnika jest odprowadzany duży strumień spalin. Aby uniknąć nad-

miernego doładowania, część strumienia spalin omija turbinę napędową 14 przewodem obejściowym udrażnianym za pomocą zaworu upustowego 11 (rys. 6.47). Czynny przekrój tego zaworu jest ustawiany napędzanym pneumatycznie zaworem regulacyjnym 10. Doysterowania zaworu regulacyjnego jest wykorzystany zawór elektromagnetyczny 13 sterowany przez sterownik silnika sygnałem impulsowym PWM.

Główne cechy turbodoładowanego silnika są następujące:

- duży moment obrotowy nawet silników o niewielkiej pojemności skokowej,
- korzystniejszy zakres zmienności momentu obrotowego,
- zmniejszone zużycie paliwa,
- zmniejszona emisja szkodliwych składników spalin,
- zwiększenie mocy silnika o 30 do 50%.

6.2.4.4. Diagnostyka i rozpoznawanie usterek

Do identyfikacji przyczyn usterek występujących w układach wtrysku paliwa silników o zapłonie iskrowym, podobnie jak i w innych układach sterowanych elektrycznie lub elektronicznie, można wykorzystać przyrządy diagnostyczne wyposażone w odpowiednie oprogramowanie specjalistyczne, których producentem są między innymi takie firmy, jak Bosch lub Lunch. Za pomocą takich przyrządów można zidentyfikować usterkę oraz jej przyczynę, odczytując zawartość pamięci diagnostycznej odpowiedniego sterownika. Najczęściej sterownikiem tym jest sterownik silnika.

Pełen opis sposobów diagnozowania i rozpoznawania usterek układów wtryskowych silników ZI za pomocą specjalizowanych diagnostokopów wykracza poza ramy podręcznika. Czytelników zainteresowanych tym problemem autor odsyła do książek [8, 10, 23, 35, 59] wymienionych w wykazie literatury.

Zidentyfikowane za pomocą diagnostokopu usterek nie zawsze są zgodne z rzeczywistymi przyczynami nieprawidłowej pracy silników. Dlatego osoby naprawiające układy wtryskowe sterowane elektronicznie powinny określać przyczyny usterek, nie tylko bazując na zawartości pamięci diagnostycznej sterownika głównego, ale również na podstawie objawów nieprawidłowej pracy silników. W tabeli 6.2 zamieszczono wykaz typowych usterek silników ZI z wtryskiem paliwa oraz zestawiono ważniejsze przyczyny tych usterek.

Aby uniknąć uszkodzenia sterownika silnika lub innych sterujących układów elektronicznych, w trakcie czynności diagnostycznych należy bezwzględnie przestrzegać wymienionych poniżej zasad.

1. Nigdy nie uruchamiać silnika oraz nie jechać bez podłączonego akumulatora.
2. Nigdy nie włączać zapłonu, gdy akumulator dołączony do instalacji elektrycznej samochodu jest ładowany za pośrednictwem prostownika zasilanego z sieci elektroenergetycznej.
3. Nigdy nie wspomagać rozruchu za pomocą dodatkowych obcych źródeł energii elektrycznej.
4. Nigdy nie odłączać lub podłączać sterownika silnika bądź innych elektronicznych urządzeń sterujących przy włączonym zapłonie.
5. Chronić elektroniczne urządzenia sterujące przed działaniem temperatur wyższych niż 80°C.

Typowe usterki układów wtrysku paliwa silników ZI oraz ich przyczyny [23]

Lp.	Objawy	Przyczyny
1	Silnika nie można uruchomić	1. Elektryczna pompa paliwa nie pracuje 2. Uszkodzony czujnik temperatury silnika lub czujnik temperatury powietrza dolotowego 3. Uszkodzenie wtryskiwacza rozruchowego lub przewodów zasilających ten wtryskiwacz (układy L-Jetronic) 4. Zbyt małe ciśnienie w układzie zasilania spowodowane: – małą wydajnością pompy paliwa – zagięciem lub zgnieceniem przewodu paliwowego – uszkodzeniem regulatora paliwa 5. Uszkodzony przepływomierz powietrza
2	Po uruchomieniu silnik gaśnie	1. Okresowy brak połączenia w instalacji elektrycznej w przedziale silnika 2. Nieszczelności w kolektorze dolotowym za przepływomierzem powietrza 3. Uszkodzony przepływomierz powietrza 4. Nie otwiera się zawór powietrza dodatkowego (L-Jetronic)
3	Nierównomierna praca silnika w trakcie nagrzewania	1. Nieszczelności w kolektorze dolotowym za przepływomierzem powietrza 2. Uszkodzony przepływomierz powietrza 3. Uszkodzony zawór powietrza dodatkowego (L-Jetronic) 4. Niedokładnie wyregulowana prędkość biegu jałowego 5. Niedokładnie wyregulowany skład spalin (zawartość CO na biegu jałowym) 6. Nieszczelne wtryskiwacze robocze lub wtryskiwacz rozruchowy (L-Jetronic)
4	Nie można wyregulować prędkości obrotowej biegu jałowego lub zbyt duża wartość tej prędkości	1. Nieszczelności w kolektorze dolotowym za przepływomierzem powietrza 2. Uszkodzony przepływomierz powietrza 3. Zakleszczona lub ciężko obracająca się przepustnica
5	Zbyt mała zawartość CO w spalinach na biegu jałowym	1. Nieszczelności w kolektorze dolotowym za przepływomierzem powietrza 2. Niedokładnie wyregulowany skład spalin (zawartość CO na biegu jałowym)
6	Silnik przerywa podczas przyspieszania	1. Nieszczelności w kolektorze dolotowym za przepływomierzem powietrza 2. Uszkodzony przepływomierz powietrza
7	Silnik przerywa podczas jazdy	1. Zbyt niskie ciśnienie paliwa 2. Zanieczyszczone nagarem końcówki wtryskiwaczy roboczych 3. Obluzowane nasadki wtyków elektrycznych czujników lub wtryskiwaczy 4. Okresowy brak kontaktu sterownika silnika z masą
8	Silnik nie rozwija pełnej mocy	1. Zbyt niskie ciśnienie paliwa 2. Uszkodzony przepływomierz powietrza 3. Przepustnica nie otwiera się całkowicie
9	Zbyt duże zużycie paliwa	1. Nieszczelne wtryskiwacze robocze 2. Zbyt wysokie ciśnienie paliwa 3. Uszkodzony czujnik temperatury silnika 4. Nieszczelny wtryskiwacz rozruchowy (L-Jetronic)

6.3. Sterowanie silnikiem o zapłonie samoczynnym

Zwiększenie wymagań dotyczących emisji spalin spowodowało, że układy mechaniczne sterujące pracą silników spalinowych o zapłonie samoczynnym (tzw. silników ZS) zostały wyparte przez elektroniczne układy sterujące. Układy takie oprócz zmniejszenia emisji spalin powodują, że współczesne silniki ZS charakteryzują się zmniejszonym zużyciem paliwa, zachowując jak największą moc i moment obrotowy. Największe straty paliwa występują, gdy silnik spalinowy pracuje na biegu jałowym lub gdy pracuje z częściowym obciążeniem.

Zmniejszenie zapotrzebowania na paliwo zarówno na biegu jałowym, jak i przy pełnym obciążeniu silnika można uzyskać, zwiększając sprawność przez wprowadzenie sterowania elektronicznego.

Silniki ZS zasysają tylko powietrze, a paliwo w postaci oleju napędowego jest wtryskiwane do gorącego powietrza pod koniec suwu sprężania. Warunkiem samoczynnego zapłonu mieszanki paliwowo-powietrznej w cylindrze silnika ZS jest odpowiednio wysoka temperatura powietrza pod koniec suwu sprężania. Podobnie jak w silnikach ZI, chwilę uruchomienia wtryskiwaczy oleju napędowego określa się miarą kątową, tzw. kątem wyprzedzenia wtrysku.

Moc silników o zapłonie samoczynnym przy stałej prędkości obrotowej zależy wyłącznie od dawki paliwa wtrysniętej do cylindrów silnika. Energia pochodząca ze spalania w cylindrach mieszanki paliwowo-powietrznej spowoduje przyrost prędkości obrotowej silnika, gdy silnik ten nie będzie nadmiernie obciążony. W przypadku gdy dawka wtryskiwanego paliwa nie jest dostosowana do aktualnej wartości momentu obciążenia, może nastąpić rozbieganie silnika. Aby tego uniknąć, niezbędne okazało się elektroniczne sterowanie dawką paliwa wtryskiwaną do cylindrów silników ZS.

6.3.1. Elektronizacja układów wtryskowych

Rozwój elektronicznego sterowania silników ZS jest datowany od początku lat dziewięćdziesiątych minionego stulecia. W pierwszych rozwiązaniach mechaniczny regulator prędkości obrotowej został zastąpiony regulatorem elektronicznym, a mechaniczny lub hydrauliczny przestawiacz kąta wtrysku – przestawiaczem elektronicznym.

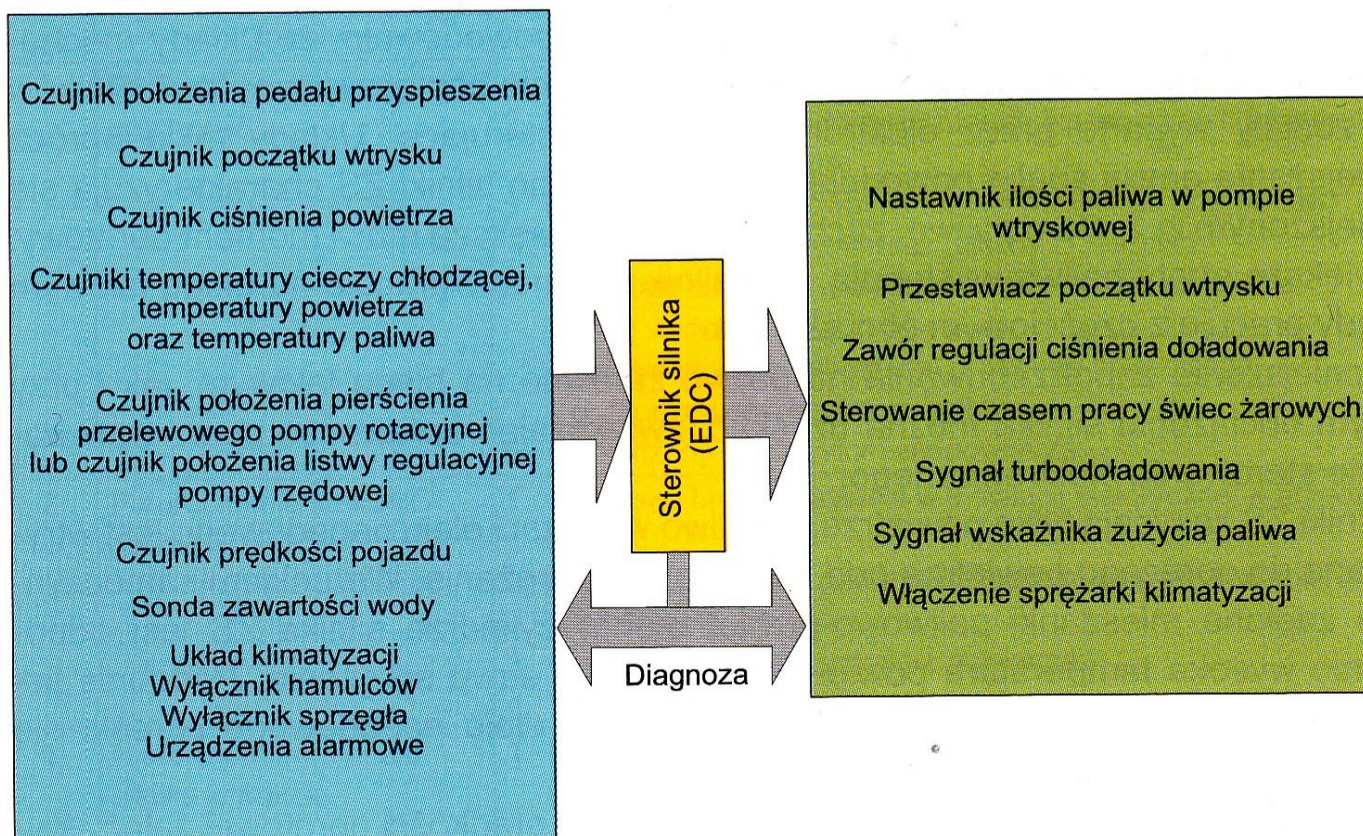
Obecnie funkcje decydujące o efektywności pracy silników ZS realizuje mikroprocesorowy sterownik silnika współpracujący z czujnikami i nastawnikami elektrohydraulicznymi.

Schemat funkcjonalny sterowanego elektronicznie układu wtryskowego silników o zapłonie samoczynnym przedstawiono na rys. 6.49.

Z rysunku 6.49 wynika, że o pracy silników ZS decydują opisane niżej czujniki pomiarowe rozmieszczone na kadłubie silnika, współpracujące między innymi z pompą wtryskową i pedałem przyspieszenia pojazdu.

Czujnik położenia pedału przyspieszenia przekazuje do sterownika elektronicznego sygnały o decyzji kierowcy dotyczącej zmiany momentu obrotowego silnika. Jest to czujnik obrotowy potencjometryczny, którego sygnałem wyjściowym jest napięcie. Rodzaje czujników pedału przyspieszenia przedstawiono na rys. 6.50.

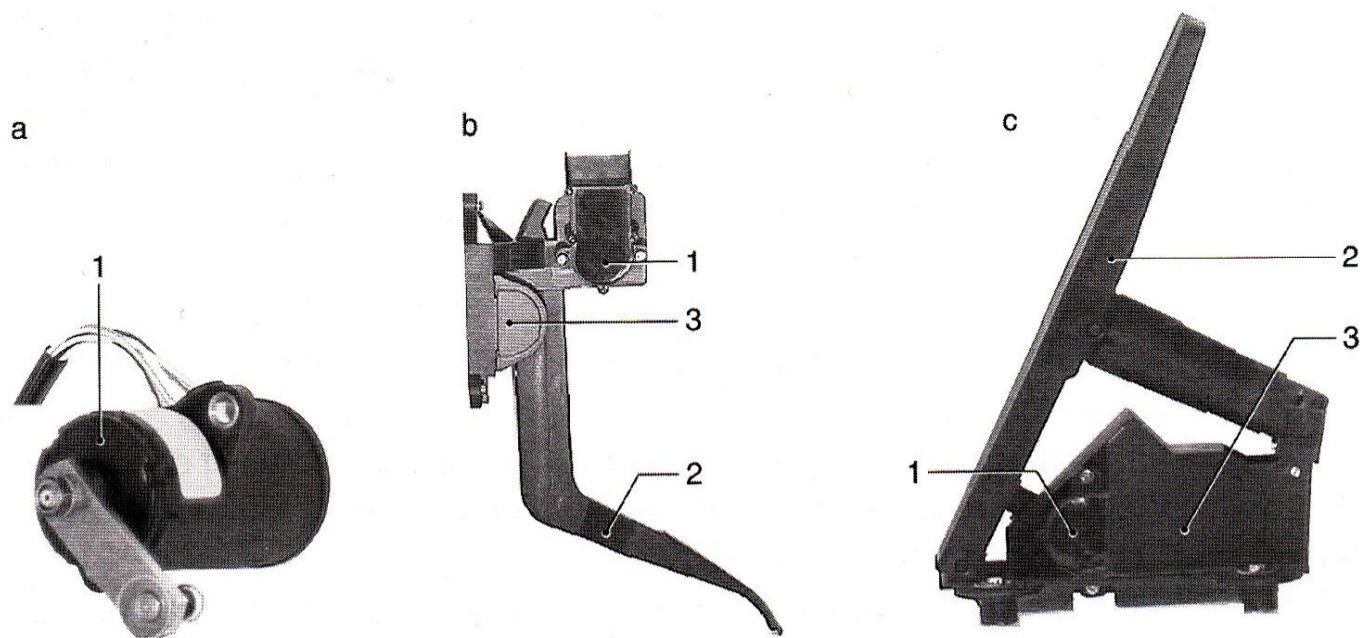
Sygnały wejściowe → Przetwarzanie → Sygnały wyjściowe



Rys. 6.49. Schemat funkcjonalny sterowania silnikiem ZS [56]

Gdy do sterownika nie dociera sygnał wyjściowy z czujnika pedału przyspieszenia, jest uruchamiany awaryjny tryb pracy, w którym silnik utrzymuje prędkość obrotową 1200...1500 obr/min.

Prędkość obrotową silnika mierzy czujnik indukcyjny umieszczony na jego wale. Budowę i zasadę działania takiego czujnika wyjaśniono w podrozdziale 3.3.5. Informacja o prędkości obrotowej silnika jest niezbędna do ograniczenia wartości tej prędkości.

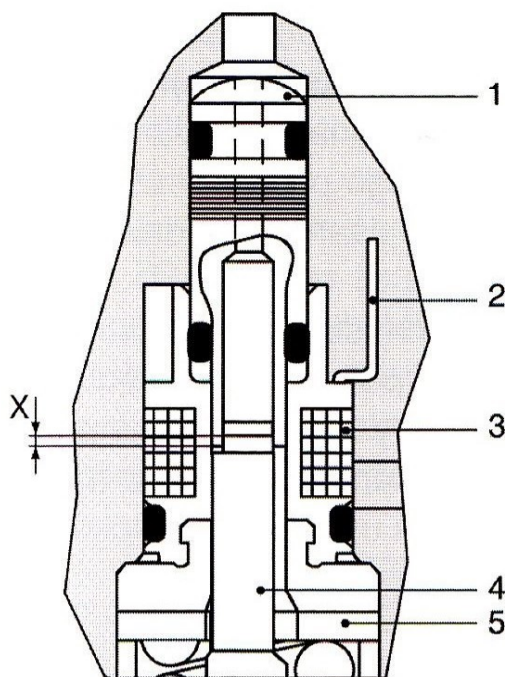


Rys. 6.50. Rodzaje czujników pedału przyspieszenia [52]

a – czujnik pedału przyspieszenia PWG3, b – wiszący zespół pedału przyspieszenia PMP1, c – stojący zespół pedału przyspieszenia, 1 – czujnik, 2 – pedał przyspieszenia, 3 – wspornik pedału

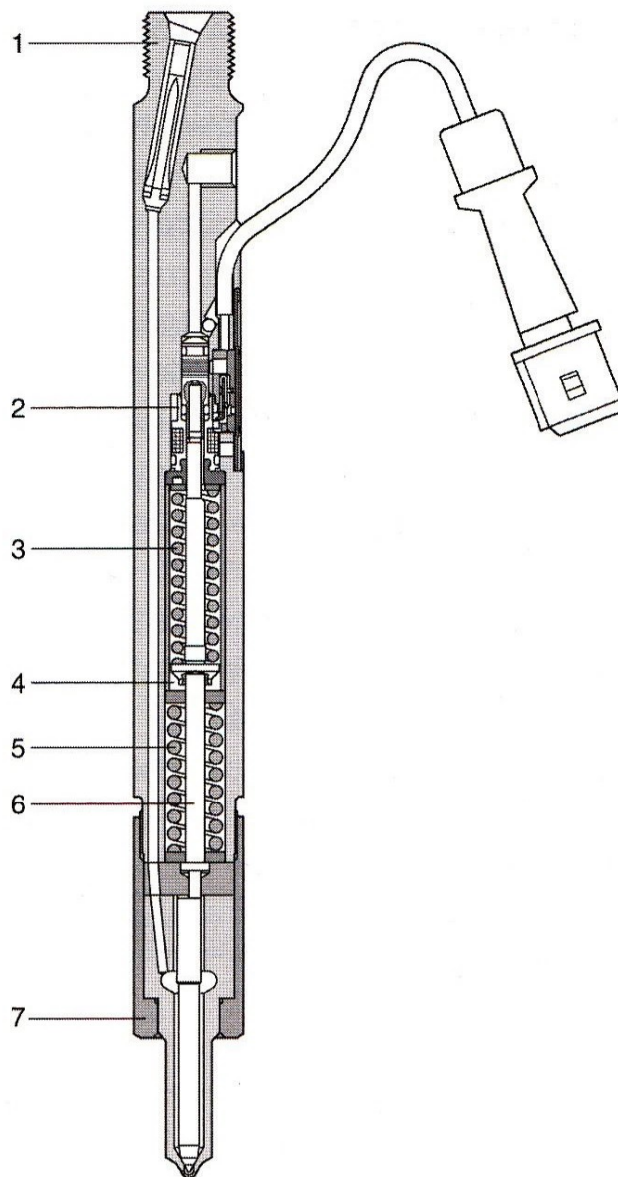
Rys. 6.51. Wtryskiwacz dwusprężynowy z indukcyjnym czujnikiem wzniosu iglicy [40]

1 – korpus wtryskiwacza, 2 – czujnik wzniosu iglicy,
3 – pierwsza sprężyna dociskowa, 4 – podkładka prowadząca,
5 – druga sprężyna dociskowa, 6 – popychacz, 7 – nakrętka
mocująca



Rys. 6.52. Czujnik wzniosu iglicy wtryskiwacza dwusprężynowego [40]

1 – trzpień ustawczy, 2 – końcówka styku, 3 – cewka,
4 – popychacz, 5 – talerzyk sprężyny, X – zmiana położenia
popychacza



kości, do regulacji prędkości biegu jałowego oraz do identyfikacji nierównomiernej pracy i szarpania silnika.

Początek wtrysku paliwa do cylindrów sygnalizuje **czujnik początku wtrysku**. Czujnik ten wysyła sygnał do sterownika, w którym następuje porównanie bieżącego kąta wtrysku z wartością wyznaczoną z charakterystyki zapisanej w pamięci i określonej przez ilość paliwa, prędkość obrotową, temperaturę cieczy chłodzącej i ciśnienie powietrza w kolektorze dolotowym. Jeśli wystąpi różnica wartości co najmniej jednego parametru, nastawy pompy wtryskowej są zmieniane tak, aby bieżący i zapisany w pamięci kąt wtrysku miały takie same wartości.

Czujnikiem początku wtrysku jest czujnik wzniosu iglicy zamontowany wewnątrz wtryskiwacza paliwa – rys. 6.51. Działanie czujnika wzniosu iglicy wyjaśniono na rys. 6.52.

Czujnik wykorzystuje zmianę położenia popychacza 4 iglicy wewnątrz cewki, przez którą przepływa prąd stały. Ruch końcówki popychacza wewnątrz cewki jest przyczyną zmiany strumienia magnetycznego wewnątrz cewki. Skutkiem zmiany strumienia jest indukowanie się w cewce siły elektromotorycznej proporcjonalnej do szybkości zmian położenia X popychacza. Początek wtrysku następuje, gdy wartość napięcia na cewce jest większa od progowej.

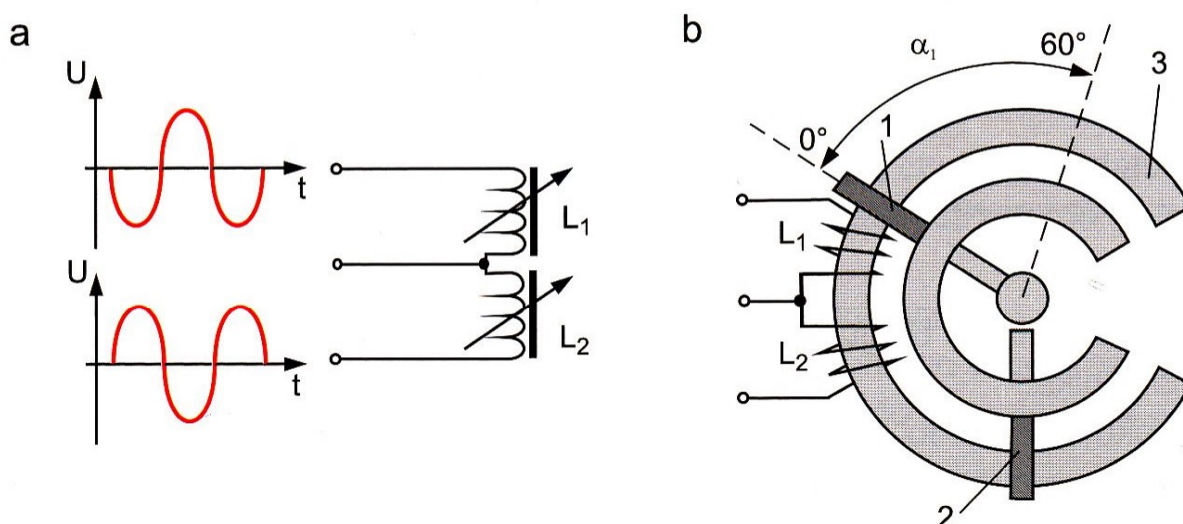
Brak sygnału wyjściowego z czujnika wzniosu iglicy nie pozwala na regulację ilości paliwa wtryskiwanego do cylindra. Skutkiem tego jest spadek momentu obrotowego

oraz nieprawidłowa ilość spalanego oleju napędowego. Miarą poprawności funkcjonowania czujnika jest szerokość impulsów wyjściowego sygnału napięciowego.

Czujnik ciśnienia powietrza w kolektorze dolotowym generuje sygnał niezbędny do obliczenia ilości wtryskiwanego paliwa oraz do wyznaczenia początku wtrysku. W silnikach turbodoładowanych spełnia on również rolę czujnika doładowania informującego urządzenie sterujące o konieczności dodatkowej zmiany nastaw zaworu regulującego ciśnienie doładowania.

Podobną rolę jak czujnik ciśnienia powietrza pełnią **termistorowe czujniki temperatury (NTC)**: cieczy chłodzącej, powietrza oraz paliwa. Sygnały wyjściowe tych czujników mają wpływ na wynik obliczenia ilości wtryskiwanego paliwa oraz na początek wtrysku. Budowę i zasadę działania obu czujników opisano w podrozdziale 3.3.5.

W rozdzielaczowych pompach wtryskowych informacje o nastawionej dawce paliwa przekazuje potencjometryczny lub indukcyjny **czujnik położenia pierścienia przelewowego**. Taką samą rolę pełni czujnik położenia listwy regulacyjnej w pompach rzędowych. Oba czujniki są nazywane również czujnikami nastawnika dawki paliwa (rys. 6.53). Sygnał z czujnika pozwala sterownikowi na ustawienie ilości dawkowanego do cylindrów paliwa zgodnie z obliczoną wartością.



Rys. 6.53. Indukcyjny czujnik położenia nastawnika dawki paliwa [14, 56]

a – schemat ideowy, b – budowa czujnika; 1 – ruchomy pierścień pomiarowy, α_1 – kąt obrotu pierścienia ruchomego, 2 – nieruchomy pierścień porównawczy 3 – rdzeń ferromagnetyczny

Czujnik składa się z różnicowego układu cewek L_1 i L_2 umieszczonych na toroidalnym, dzielonym rdzeniu ferromagnetycznym 3. Cewki są zasilane przez sterownik pompy napięciem o częstotliwości 10 kHz. Jeżeli kąt obrotu α_1 wałka nastawnika dawki się zmienia, to pierścień miedziany 1 zmieni swoje położenie względem cewki pomiarowej L_1 , zmieniając impedancję tej cewki. Zmiana impedancji powoduje zmianę wartości skutecznej prądu płynącego przez cewkę. Sterownik pompy zmienia wartość skuteczną napięcia zasilającego cewkę L_1 tak, aby niezależnie od położenia pierścienia 1 wartość skuteczna prądu tej cewki była stała.

W odróżnieniu od cewki L_1 impedancja cewki porównawczej L_2 nie zmienia się, gdy wałek dozownika zmienia swoje położenie, ponieważ pierścień miedziany 2 po-

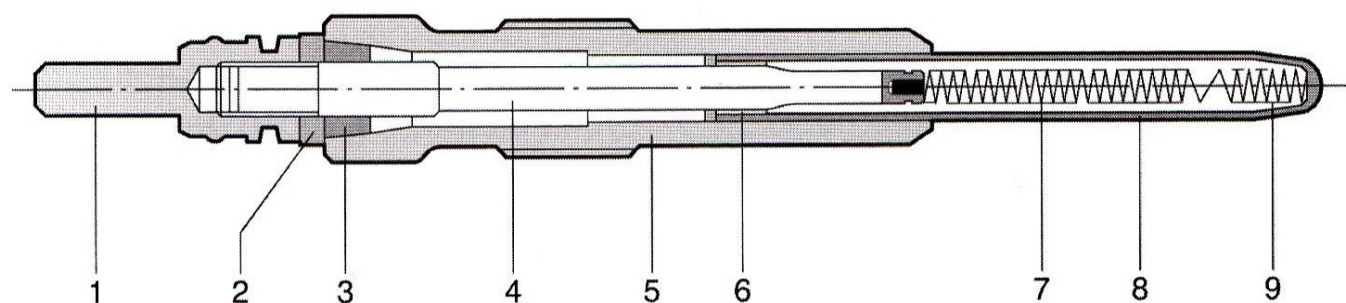
zostaje nieruchomy. W trakcie pracy pompy położenie wałka nastawnika określa sterownik, wyznaczając różnicę wartości skutecznej napięć zasilających układ cewek.

Sygnał prędkości jazdy samochodu jest niezbędny, aby zwiększyć prędkość biegu jałowego do takiej wartości, że nie występuje szarpanie pojazdem przy małej prędkości jazdy lub przy małej prędkości obrotowej silnika. Działanie tego czujnika wyjaśniono w podrozdziale 5.3.

Prędkość biegu jałowego musi być również zwiększona po włączeniu klimatyzacji. W tym celu w samochodach z silnikiem ZS jest instalowany **czujnik włączenia klimatyzacji**. Może to być zwykły łącznik jednobiegunowy zamykany za pomocą pokrętła sterującego pracą klimatyzacji.

Bardzo istotnym parametrem decydującym o możliwości uruchomienia zimnego silnika ZS jest czas żarzenia świec żarowych. Czas ten może być regulowany przez autonomiczny układ elektroniczny lub przez sterownik silnika.

Zadaniem świecy żarowej jest podgrzanie mieszanki paliwowo-powietrznej w komorze wstępnej do temperatury samozapłonu (ok. 850°C). Budowę świecy żarowej sztabkowej przeznaczonej do silników ZS małej mocy pokazano na rys. 6.54.



Rys. 6.54. Budowa świecy żarowej sztabkowej [40]

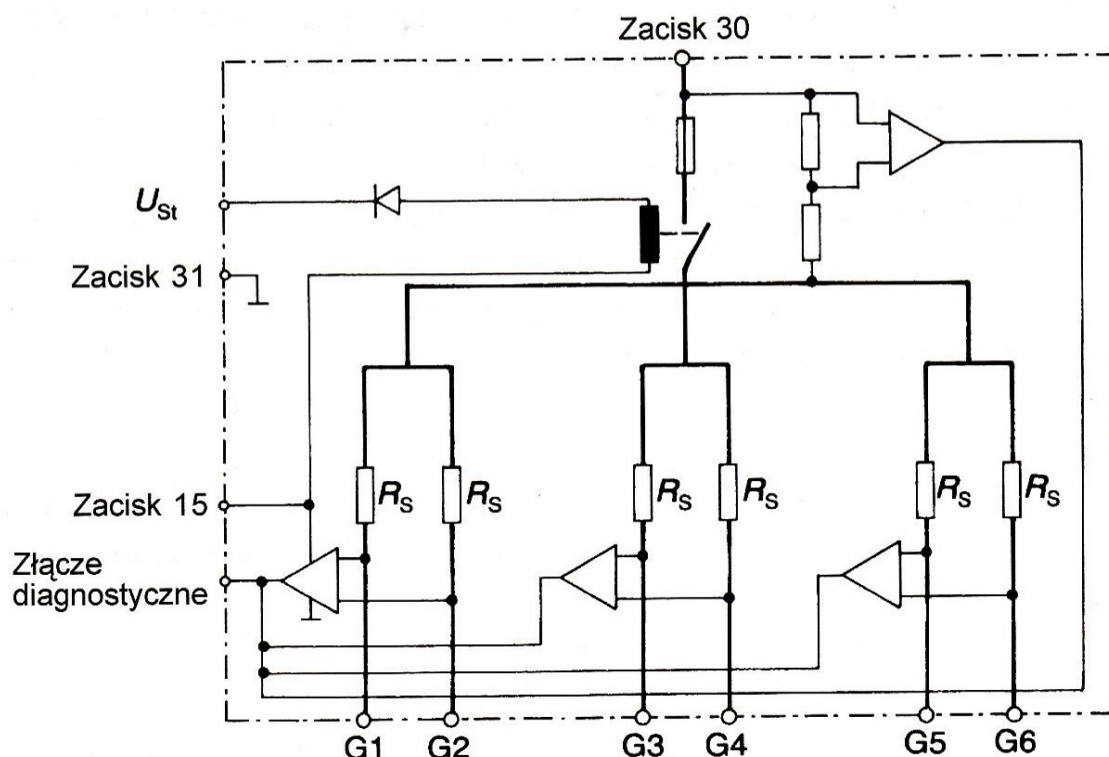
1 – złącze, 2 – pierścień izolacyjny, 3 – uszczelka, 4 – trzpień przewodzący, 5 – korpus, 6 – uszczelka elementu grzejnego, 7 – uzwojenie grzejne i uzwojenie regulacyjne, 8 – rurka żarowa, 9 – sproszkowany tlenek magnezu

Do podgrzewania korpusu świecy są przeznaczone dwa szeregowo połączone uzwojenia – grzejne i regulacyjne. Rezystancja uzwojenia grzejnego praktycznie nie zależy od temperatury, natomiast uzwojenie regulacyjne charakteryzuje się dodatnim współczynnikiem rezystancji (PTC). Dzięki temu po osiągnięciu temperatury samozapłonu temperatura korpusu świecy nie zwiększa się, ponieważ maleje prąd płynący przez spiralne uzwojenia grzejne świecy.

Układ elektryczny obwodu świec żarowych przedstawiono na rys. 6.54. Czas podgrzewania świec o rezystancji R_s zależy od czasu zamknięcia przełącznika świec, którego uzwojenie jest łączone do masy przez wyjście sterownika (sygnał U_{St}). Napięcie akumulatora jest doprowadzane do uzwojenia tego przełącznika przez zacisk 15 (rys. 6.55).

Prawidłowość działania obwodu świec żarowych jest nadzorowana przez system diagnostyki pokładowej (OBD).

Dla prawidłowej pracy silników o zapłonie samoczynnym bardzo istotna jest wartość prędkości obrotowej biegu jałowego. Prędkość ta powinna być tak dobrana, aby we wszystkich stanach pracy silnika była stabilna. Z praktycznego punktu widzenia dodatkowe obciążanie silnika spowodowane włączeniem instalacji oświetleniowej,



Rys. 6.55. Obwód świateł żarowych [18]

włączeniem klimatyzacji, uruchomieniem wspomagania układu kierowniczego oraz zmianą biegu w pojazdach z automatyczną skrzynką biegów nie może doprowadzić do nierównej pracy lub do zatrzymania silnika. Podprogramem sterownika silnika zapewniającym płynną jego pracę jest tzw. regulator biegu jałowego. Zadaniem tego podprogramu jest zmiana dawki paliwa do chwili ustalenia prędkości obrotowej na poziomie znamionowym zależnym od temperatury silnika oraz od aktualnie włączonego biegu. Nierównomierna praca silnika na biegu jałowym może być spowodowana również przez różne wartości momentów obrotowych wytwarzanych przez poszczególne cylindry. Przyczyną tego zjawiska jest zróżnicowanie tolerancji mechanicznych oraz starzenie podzespołów silnika. Zrównoważenie udziału wszystkich cylindrów silnika w wytwarzaniu momentu obrotowego jest nadzorowane przez podprogram nazywany regulatorem pracy równomiernej, który, dawkując paliwo, uwzględnia zmiany prędkości obrotowej silnika po każdym procesie spalania i porównuje je wzajemnie.

6.3.2. Sterowanie pompami wtryskowymi

Pompy zasilające silniki ZS współczesnych pojazdów samochodowych są sterowane elektronicznie za pośrednictwem sterownika silnika. Do zadań sterownika należy przede wszystkim nastawianie dawki paliwa oraz ustalanie początku wtrysku. Dokładne ustalanie wartości tych parametrów ma między innymi wpływ na prędkość obrotową biegu jałowego oraz na moc silnika przy danej prędkości obrotowej.

Dawka wtrysniętego paliwa musi ściśle odpowiadać chwilowemu obciążeniu silnika. W przypadku gdy silnik nie będzie obciążony momentem odpowiadającym wtryskiwanej dawce, może wystąpić rozbieganie silnika przy zbyt dużej ilości dostarczanego paliwa.

W starych silnikach ZS, produkowanych do końca lat osiemdziesiątych minionego stulecia, o ilości paliwa dostarczanego do silnika decydował mechaniczny regulator prędkości obrotowej, który za pośrednictwem mechanicznego lub hydraulicznego przestawiacza wtrysku dawkował wtryskiwane paliwo.

W silnikach produkowanych od początku lat dziewięćdziesiątych minionego wieku mechaniczno-hydrauliczne podzespoły regulacyjno-nastawcze zastąpiono podzespołami elektromechanicznymi sterowanymi elektronicznie. Elektroniczne układy sterujące wtryskiem paliwa silników ZS są oznaczane skrótem EDC (ang. *Electronic Diesel Control*).

W pojazdach samochodowych są stosowane dwa podstawowe rodzaje pomp wtryskowych. W pojazdach osobowych montuje się osiowe pompy rozdzielaczowe, a w pojazdach użytkowych – pompy rzędowe. Poniżej opisano funkcje elektrycznych i elektronicznych podzespołów tych pomp.

6.3.2.1. Sterowanie osiowymi pompami rozdzielaczowymi

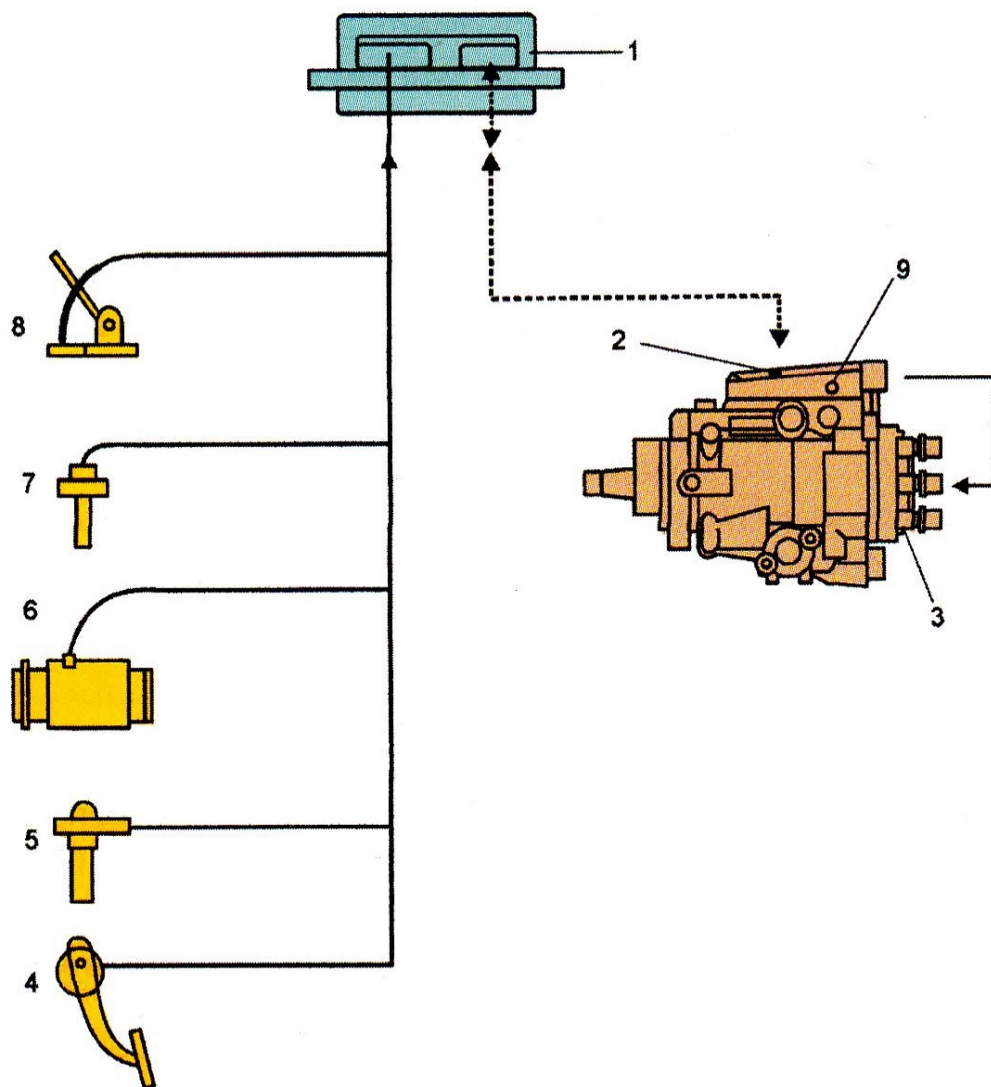
Osiowe pompy rozdzielaczowe są wysokociśnieniowymi pompami rotacyjnymi napędzanymi przez silnik napędowy pojazdu. Funkcjonowanie układu elektronicznego sterującego pracą tych pomp wyjaśniono na przykładzie pompy wtryskowej firmy Bosch typu EDC/HDK VE.

Na rysunku 6.56 przedstawiono schemat elektronicznego układu sterowania rozdzielaczową pompą wtryskową.

Elektromagnetyczny zawór odcinający (STOP; 3 – rys. 6.56), umieszczony bezpośrednio na korpusie pompy wtryskowej, jest przeznaczony do uruchamiania i wyłączania silnika. Działanie tego zaworu jest inicjowane wyłącznikiem zapłonu. Wyłączenie zapłonu powoduje odcięcie dopływu paliwa do tłokorozdzielacza 4.

Czujnik położenia nastawnika dawki paliwa 1 (rys. 6.57) przekazuje do sterownika pompy 2 (rys. 6.56) sygnał, który wraz z sygnałem o temperaturze paliwa w pompie 9 (rys. 6.56) pozwala sterownikowi obliczyć dawkę wtryskiwanego paliwa. W sytuacji braku jednego z wymienionych sygnałów zawór STOP odcina dopływ paliwa i silnik się zatrzymuje. Od 1993 roku w pompach rolę czujnika położenia dźwigni przyspieszenia pełni bezstykowy różnicowy czujnik indukcyjny (rys. 6.53), umieszczony w górnej części pompy wtryskowej.

Nastawnik dawki 2 (rys. 6.57) ma za zadanie przestawienie dozownika pompy tak, aby ilość paliwa dostarczanego do wtryskiwaczy była dostosowana do warunków pracy silnika. Nastawnik ten jest elektromagnesem napędzającym magnes połączony z wałkiem zakończonym mimośrodem, który napędza dozownik pompy. Gdy przez cewkę elektromagnesu nie przepływa prąd, oś napędowa dozownika jest przestawiana w położenie spoczynkowe za pomocą sprężyn. Wałek napędowy dozownika jest połączony z czujnikiem nastawnika mechanicznie – czujnik jest zamocowany bezpośrednio nad elektromagnesem nastawnika. Zacisk (+) elektromagnesu nastawnika dawki jest połączony z zaciskiem dodatnim akumulatora, zaś zacisk ujemny jest łączony przez kluczące wyjście mocy sterownika pompy z masą pojazdu. Impulsowy sygnał prądowy płynący przez cewkę elektromagnesu ma wypeł-



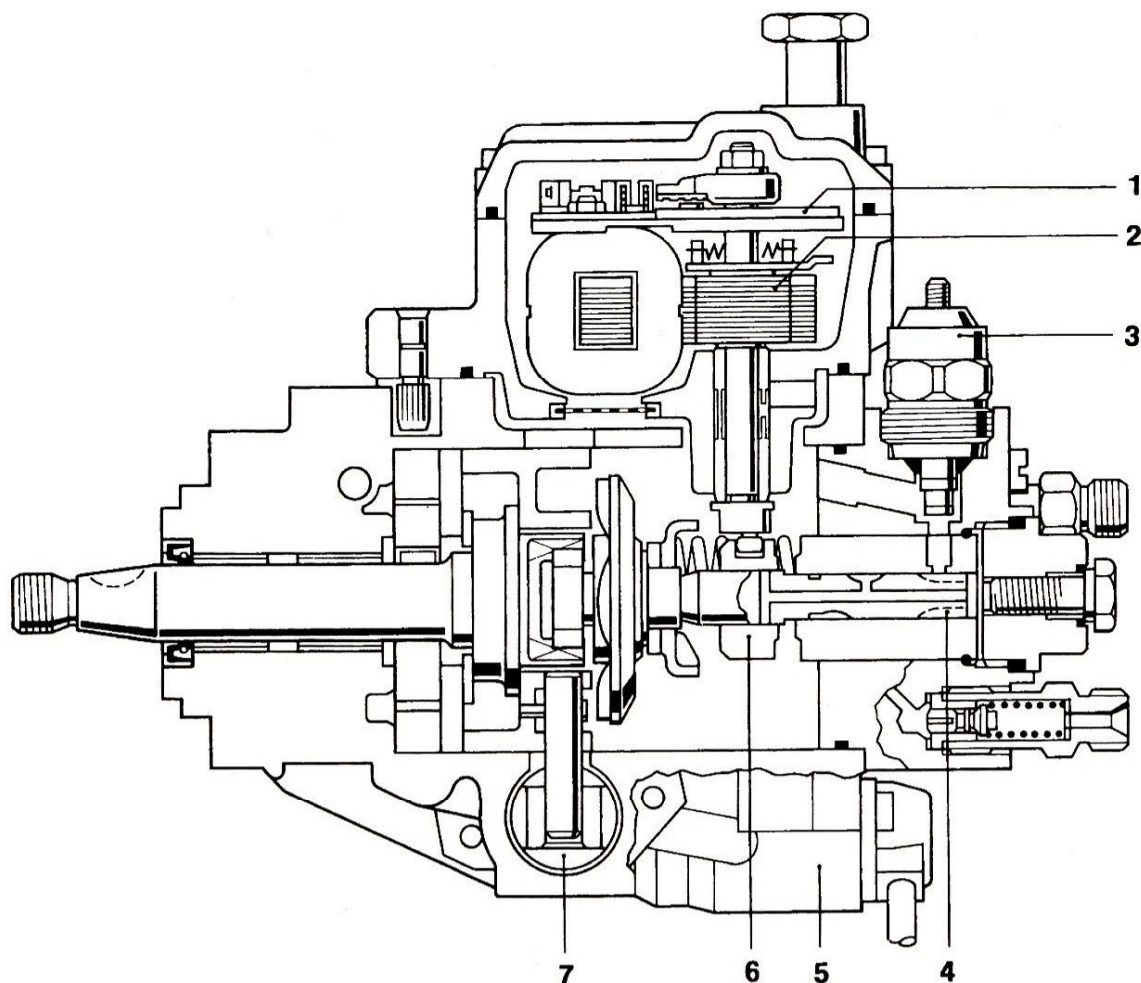
Rys. 6.56. Schemat elektronicznego układu sterowania rozdzielaczową pompą wtryskową [21]

1 – sterownik silnika, 2 – mikroprocesorowy sterownik pompy wtryskowej, 3 – wysokociśnieniowy elektromagnetyczny zawór odcinający (STOP) blokujący dopływ paliwa do wtryskiwaczy, 4 – czujniki położenia pedału sprzęgła i hamulca, 5 – czujnik prędkości obrotowej silnika, 6 – przepływomierz powietrza, 7 – czujnik temperatury cieczy chłodzącej, 8 – czujnik położenia pedału przyspieszenia, 9 – czujnik temperatury paliwa w pompie wtryskowej

nienie tak dobrane, aby wartość średnia za okres przebiegu impulsowego zwiększała się, gdy jest konieczne zwiększenie kąta obrotu wałka nastawnika dawki.

Czujniki położenia pedałów sprzęgła i hamulca są potrzebne do tłumienia szarpnięć oraz inicjowania działania tempomatu. Ze względów bezpieczeństwa na pedale hamulca jest zamocowany przełącznik z dwoma stykami przeciwstawnymi. Po naciśnięciu tego pedału jeden wyłącznik jest otwierany, a drugi zamykany. W przypadku gdy przełącznik sygnalizujący położenie pedału hamulca zostanie uszkodzony, w trakcie samodiagnozy sterownik nie rozpoznaje momentu włączenia świateł hamulca i sygnalizuje usterkę.

Działanie układu sterującego wtryskiem paliwa silników ZS jest nadzorowane przez sterownik elektroniczny przetwarzający sygnały czujników na odpowiadające im nastawy elementów wykonawczych. Ponadto sterownik ten przekazuje do sterownika pompy paliwa informacje o chwilowej wartości prędkości obrotowej wału korbowego silnika, określa dawkę wtryskiwanego do cylindrów paliwa i początek jego tłoczenia oraz ustala położenie elektromagnetycznego nastawnika odpowiednio do wtryskiwanej dawki. Algorytm wyznaczania dawki paliwa przedstawiono na rys. 6.58.



Rys. 6.57. Osiowa rozdzielaczowa pompa wtryskowa [18]

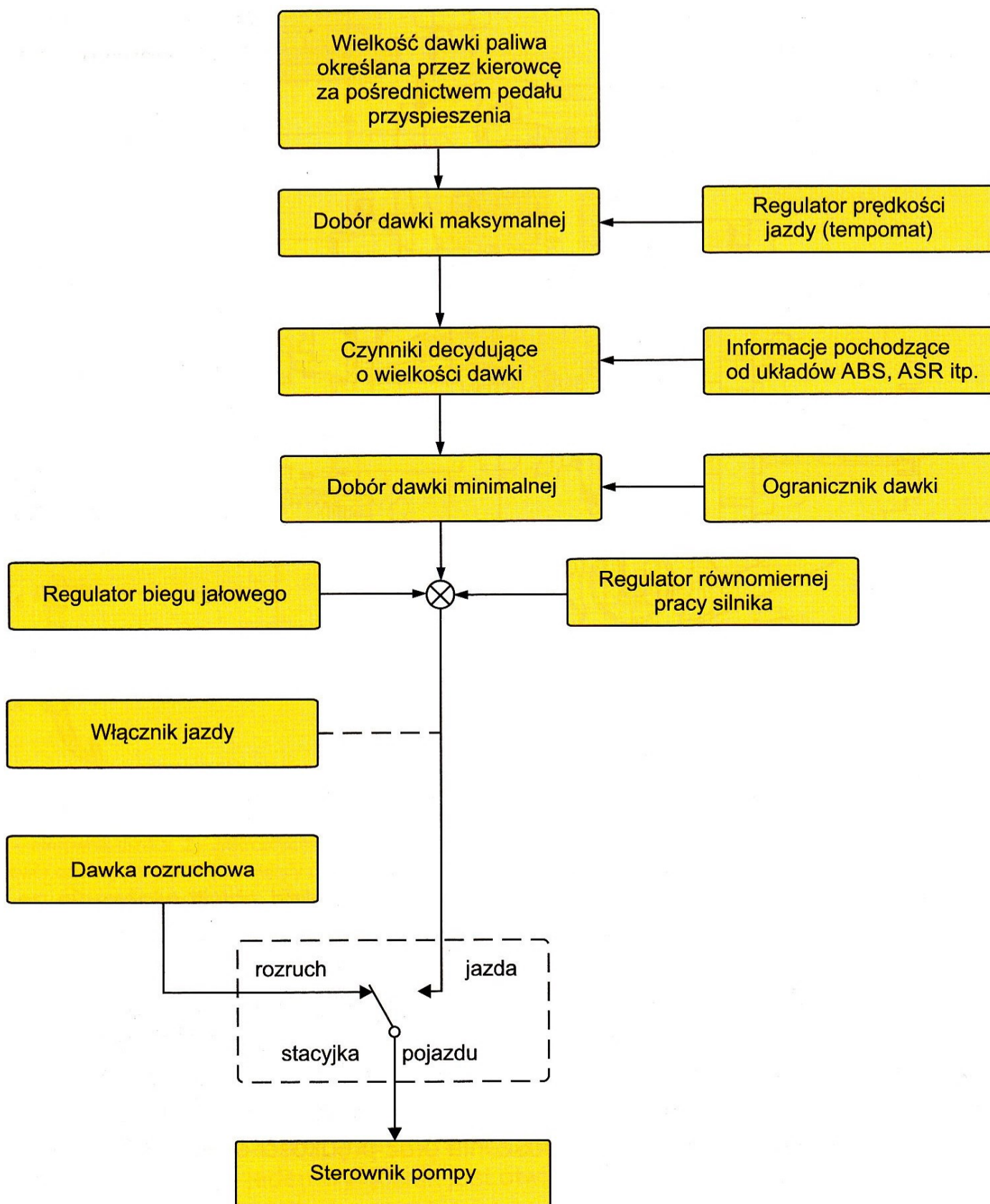
1 – czujnik przesunięcia pierścienia przelewowego, 2 – nastawnik dawki paliwa, 3 – wysokociśnieniowy elektromagnetyczny zawór odcinający, 4 – tłok, 5 – elektromagnetyczny zawór przestawiacza kąta wtrysku, 6 – pierścień przelewowy, 7 – przestawiacz wtrysku

Dawka rozruchowa jest podawana do cylindrów silnika od chwili włączenia zapłonu do czasu, gdy silnik osiągnie minimalną prędkość rozruchu. W niskich temperaturach część paliwa osadza się na wewnętrznych ściankach cylindrów. W związku z tym podczas rozruchu w takich warunkach do silnika musi być dostarczona większa dawka paliwa w porównaniu z ilością niezbędną do rozruchu silnika nagrzanego.

W trakcie normalnej eksploatacji ilość paliwa wtryskiwanego do cylindrów jest wyznaczana z mapy charakterystyk zapisanych w pamięci sterownika silnika, po uwzględnieniu położenia pedału przyspieszenia oraz prędkości obrotowej wału korbowego.

Kolejnym podprogramem sterownika silnika ZS jest regulator prędkości jazdy, tzw. tempomat. Dostosowuje on dawkę wtrysku do prędkości jazdy pojazdu określonej przez kierowcę. Podprogram ten przestaje na stałe ingerować w proces sterowania silnikiem, tzn. jest wyłączony, po naciśnięciu pedału sprzęgła lub hamulca. Chwilowe zwiększenie prędkości jazdy, spowodowane naciśnięciem pedału przyspieszenia, czasowo zawiesza działanie podprogramu do momentu zwolnienia tego pedału. Za pomocą przycisku można zawsze uaktywnić podprogram, uzyskując prędkość pojazdu zadaną przed jego wyłączeniem.

Warunki eksploatacji samochodu wyposażonego w silnik o zapłonie samoczynnym nie zawsze pozwalają na dawkowanie paliwa zgodnie z życzeniem kierowcy. Przy-



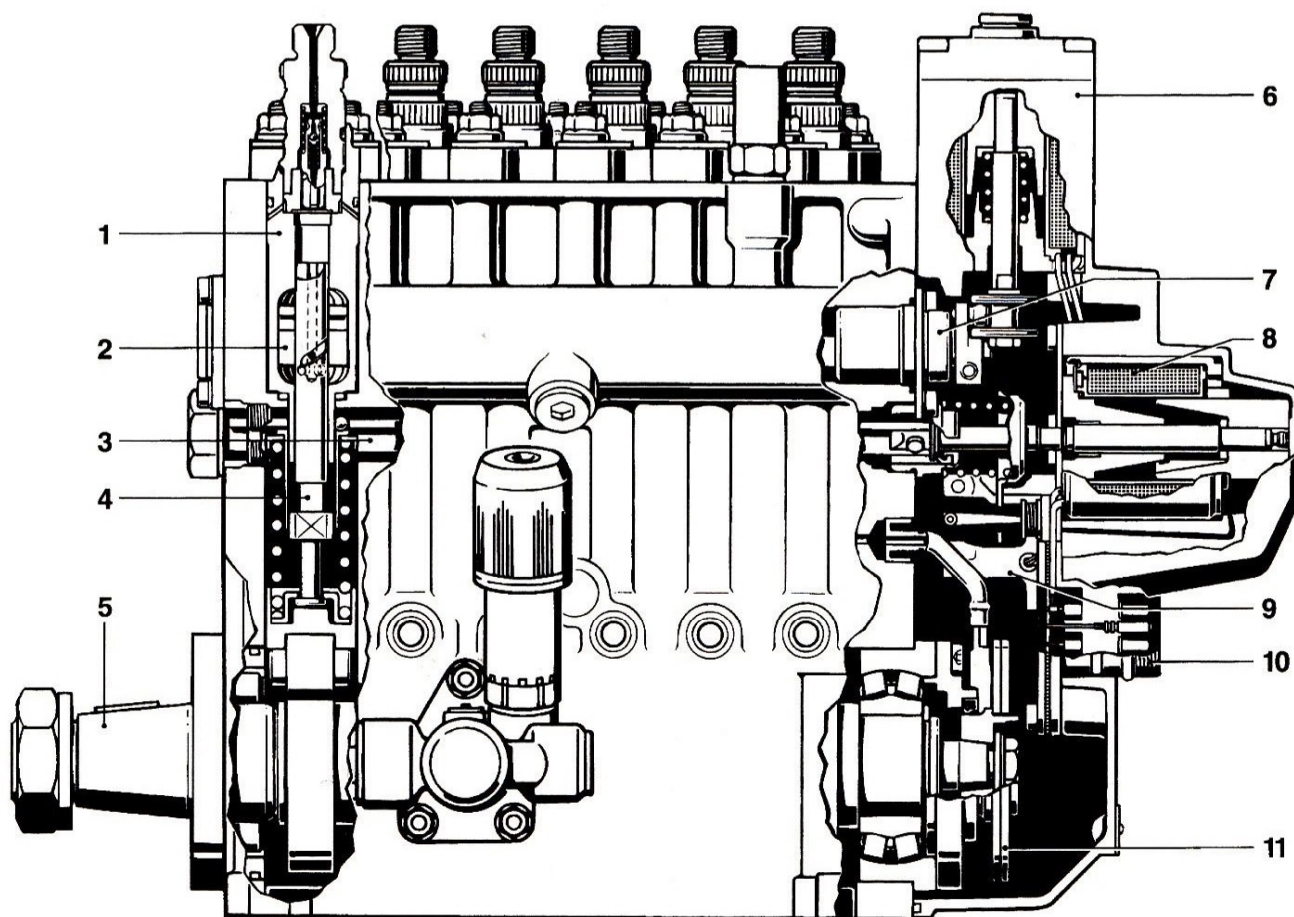
Rys. 6.58. Algorytm wyznaczania dawki paliwa wtryskiwanego do cylindrów silnika ZS [56]

czynami programowego ograniczenia dawki mogą być: zbyt duża toksyczność oraz emisja sadzy w spalinach bądź przeciążenie mechaniczne silnika przez zbyt duży moment obrotowy. Informacje niezbędne do wyznaczenia odpowiedniej w danych warunkach eksploatacyjnych dawki wtryskiwanego paliwa są przekazywane do sterownika za pośrednictwem czujnika temperatury cieczy chłodzącej, czujnika prędkości obrotowej wału korbowego oraz masowego przepływomierza powietrza umieszczonego w kolektorze dolotowym silnika.

Program nadzorujący pracę silników ZS może również aktywnie tłumić szarpnięcia występujące przy zmianach momentu obrotowego silnika, spowodowanych gwałtownym wciśnięciem lub zwolnieniem pedału przyspieszenia, zmieniającym skokowo dawkę wtryskiwanego paliwa. Nagła zmiana momentu obrotowego silnika jest przyczyną drgań okresowych elastycznego zwieszenia silnika i układu napędowego oraz przyczyną wahań prędkości obrotowej wału korbowego. Aby zminimalizować wahania prędkości obrotowej, sterownik zmienia dawkę wtrysku zgodnie z okresem tych wahań: przy zwiększaniu prędkości dawka jest zmniejszana, zaś przy zmniejszaniu – zwiększana.

6.3.2.2. Sterowanie pompami rzęдовymi

W pojazdach użytkowych, tj. maszynach roboczych oraz samochodach ciężarowych, do zasilania silników o zapłonie samoczynnym są stosowane rzędowe pompy wtryskowe. Paliwo do tych pomp jest dostarczane pod nadciśnieniem ok. 0,2 MPa za pomocą pompy zasilającej. Pompa wtryskowa tłoczy do wtryskiwaczy dokładnie dozowane dawki paliwa. Elektronizacja rzędowych pomp wtryskowych spowodowała, że ciśnienie tłoczenia paliwa tych pomp wynosi 100...140 MPa, natomiast ciśnienie tłoczenia rozdzielaczowych pomp wtryskowych stosowanych w samochodach osobowych osiąga wartość 120...140 MPa. Budowę sterowanej elektronicznie wtryskowej pompy rzędowej pokazano na rys. 6.59.



Rys. 6.59. Sterowana elektronicznie rzędowa pompa wtryskowa [18]

1 – cylinder pompy, 2 – suwak, 3 – listwa regulacyjna, 4 – tłok pompy, 5 – wałek krzywkowy, 6 – nastawnik elektromagnetyczny początku tłoczenia, 7 – wałek ustawczy suwaka, 8 – nastawnik elektromagnetyczny drogi regulacji, 9 – czujnik indukcyjny przesunięcia listwy regulacyjnej, 10 – wtyk elektryczny, 11 – czujnik indukcyjny prędkości obrotowej

W rzędowych pompach wtryskowych paliwo do każdego cylindra silnika dostarcza oddzielna sekcja tłocząca 1, którą tworzy zestaw tłoczek-cylinder oraz zawór tłoczący. Do napędu tłoczka w kierunku tłoczenia jest przeznaczony wałek krzywkowy 5 napędzany przez silnik. W położenie spoczynkowe tłoczek każdej sekcji jest sprawdzany przez sprężynę popychacza.

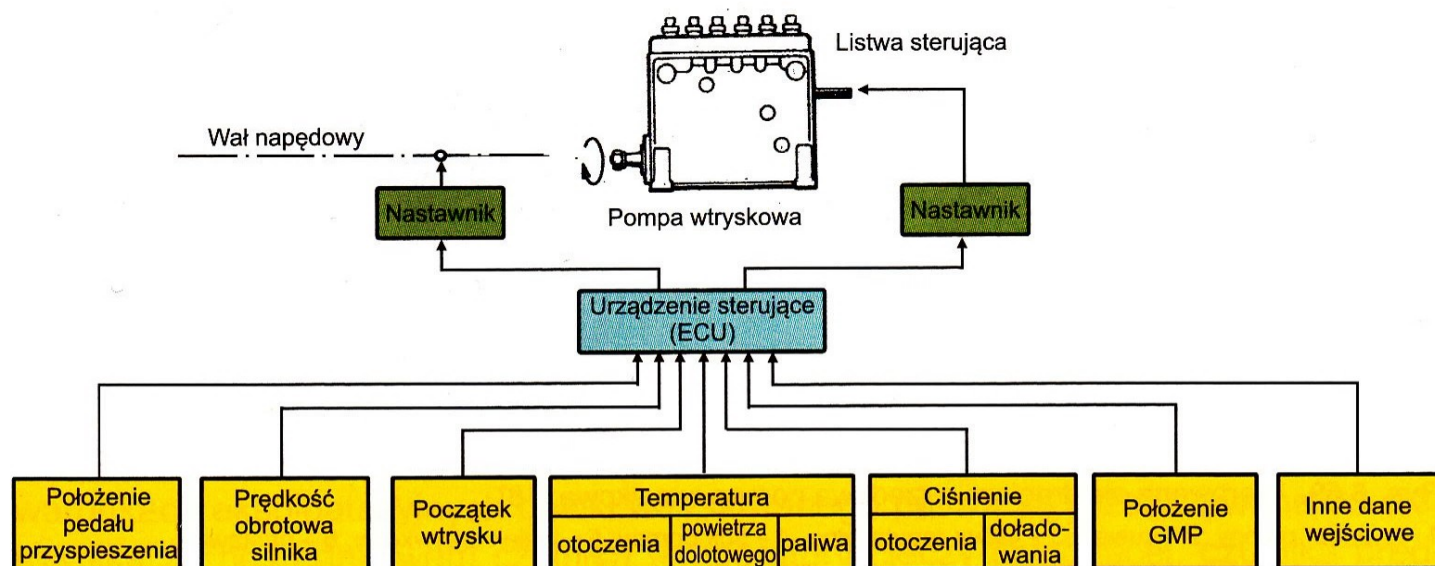
Regulację prędkości obrotowej pompy zapewnia regulator elektroniczny współpracujący z listwą regulacyjną, który realizuje następujące funkcje:

- nie pozwala na przekroczenie dopuszczalnej prędkości obrotowej przez silnik,
- stabilizuje prędkość obrotową biegu jałowego,
- stabilizuje prędkość obrotową silnika w każdym zakresie wartości,
- ustawia dawkę rozruchową paliwa,
- kształtuje przebieg momentu obrotowego w funkcji prędkości obrotowej, ustalając dawkę pełnego obciążenia.

Podzespoły regulatora są zamocowane na pompie z jej prawej strony (rys. 6.59).

Wielkość dawki paliwa tłoczonej do wtryskiwaczy jest określona skokiem czynnym tłoczków, którego zmianę określa listwa regulacyjna 3 obracająca odpowiednio wszystkie tłoczki pompy. W pompach sterowanych elektronicznie do napędu listwy regulacyjnej jest przeznaczony nastawnik elektromagnetyczny. Uzwojenie elektromagnesu nastawnika jest zasilane prądem pochodzącym od sterownika silnika. Wartość tego prądu zależy od różnicy między rzeczywistym i zadaniem położeniem listwy. Do wyznaczania rzeczywistego położenia listwy regulacyjnej sterownik silnika wykorzystuje sygnał wyjściowy czujnika indukcyjnego położenia listwy 9, sygnał czujnika prędkości obrotowej wałka krzywkowego 11, informacje o temperaturze paliwa, położeniu pedału przyspieszenia, temperaturze i ciśnieniu powietrza, prędkości jazdy samochodu oraz informacje o wciśnięciu pedału hamulca i pedału sprzęgła.

Kiedy przez elektromagnes nastawnika nie płynie prąd, listwa regulacyjna jest sprawdzana do położenia zerowego wydatku paliwa za pomocą sprężyny dociskowej.



Rys. 6.60. Schemat blokowy układu elektronicznej regulacji prędkości obrotowej wtryskowej pompy rzędowej [24]

Schemat blokowy regulacji prędkości obrotowej rzędowej pompy wtryskowej przedstawiono na rys. 6.60. Na rysunku tym symbolem ECU oznaczono mikroprocesorowy sterownik silnika.

Do ustalania początku wtrysku jest przeznaczony nastawnik elektromagnetyczny początku tłoczenia 6 współpracujący z wałkiem nastawczym 7 i suwakiem 2 (rys. 6.59). Wartość prądu wzbudzenia elektromagnesu nastawnika jest regulowana przez sterownik silnika z uwzględnieniem sygnału wyjściowego czujników wzniosu iglicy wtryskiwacza.

Podobnie jak w rozdzielaczowych pompach wtryskowych, do przerwania procesu tłoczenia paliwa rzędowych pomp wtryskowych jest przeznaczony elektrohydrauliczny zawór STOP.

Podczas pracy pompy zawór STOP jest w stanie otwartym, ponieważ jest zasilany napięciem pochodzącym od sterownika silnika. Za pośrednictwem tego zaworu niskociśnieniowa pompa zasilająca dostarcza paliwo do sekcji tłoczących pompy rzędowej.

Zawór STOP jest przeznaczony do awaryjnego unieruchamiania silnika w przypadku wystąpienia awarii podzespołów pompy wtryskowej, np. zablokowania listwy regulacyjnej przez zatarty element tłoczący, uszkodzenia cylindra zespołu tłoczącego lub pęknięcia sprężyny listwy regulacyjnej.

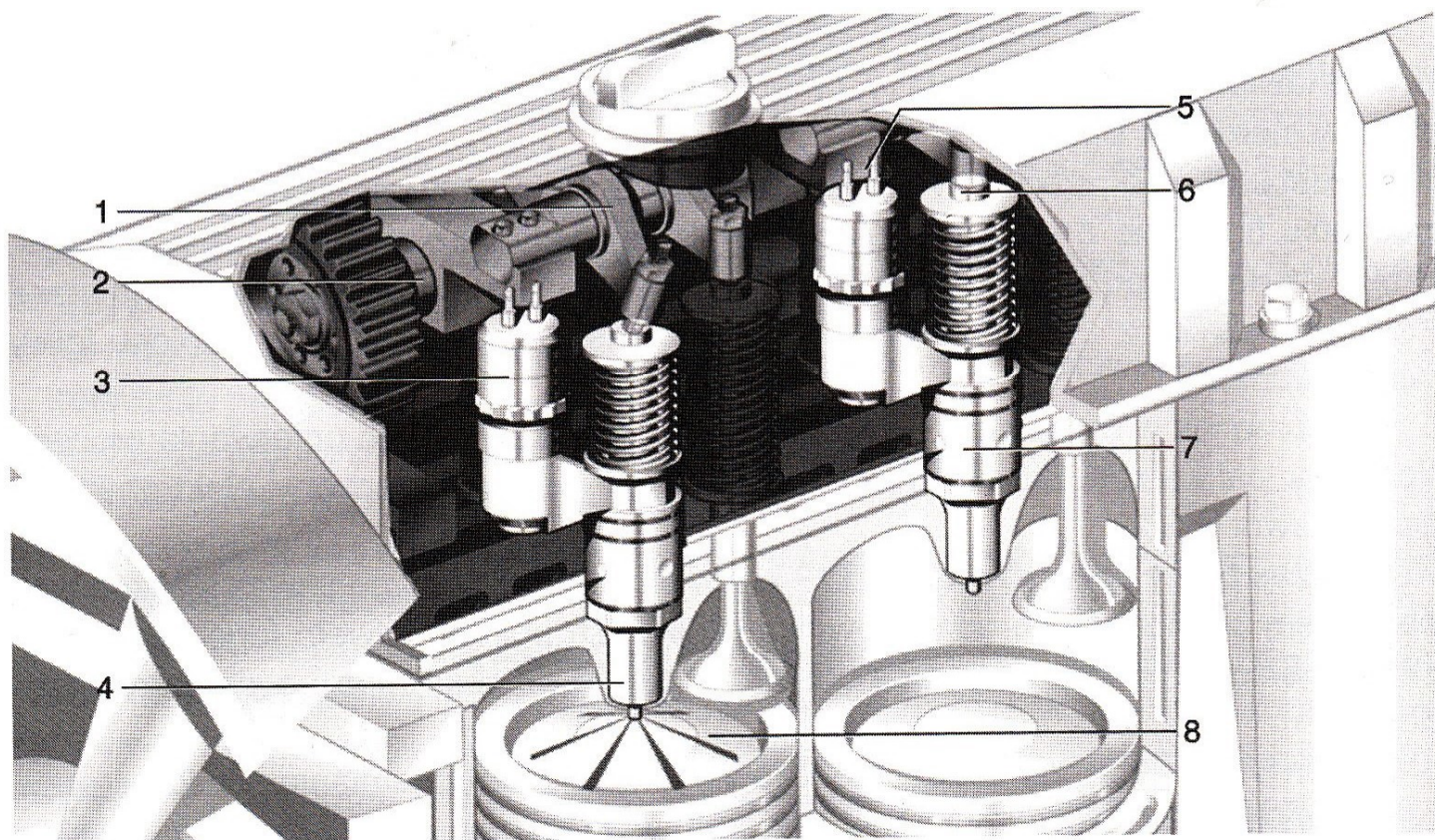
6.3.3. Współczesne układy wtryskowe

Emisja szkodliwych substancji przez silniki o zapłonie samoczynnym zależy od ciśnienia paliwa wtryskiwanego do cylindrów.

W celu zmniejszenia zawartości substancji szkodliwych w spalinach z jednoczesnym zmniejszeniem zużycia paliwa przy wzroście momentu obrotowego, w silnikach o zapłonie samoczynnym zaczęto stosować bezpośredni wysokociśnieniowy wtrysk paliwa. Taki sposób zasilania silników o zapłonie samoczynnym zmniejsza ich hałaśliwość oraz nierównomierność pracy dzięki elektronicznemu sterowaniu początkiem wtrysku, dawką wtryskiwanego paliwa i równomiernością napełniania cylindrów oraz zastosowaniu współczesnych układów wtryskowych. Mogą to być pompowtryskiwacze, jednocylindrowe pompy wtryskowe sterowane elektromagnetycznie oraz układy Common Rail. Pierwsze dwa sposoby wtrysku paliwa do silników o zapłonie samoczynnym wykorzystują dla każdego cylindra indywidualne układy wtryskowe. Natomiast układ Common Rail ma konstrukcję podobną do układów pośredniego wtrysku benzyny, w których wtryskiwacze są dołączone do zasobnika gromadzącego paliwo pod wysokim ciśnieniem.

6.3.3.1. Układ wtryskowy z pompowtryskiwaczami sterowanymi elektronicznie

Najślabszym podzespołem układu zasilania paliwem silników o zapłonie samoczynnym są wysokociśnieniowe przewody łączące pompę wtryskową z rozpylaczami umieszczonymi w cylindrach silnika. W przewodach tych w trakcie wtrysku paliwa do cylindrów powstają gwałtowne skoki ciśnienia i zjawiska falowe wpływające na czas



Rys. 6.61. Zabudowa pompowtryskiwaczy na kadłubie silnika [52]

1 – popychacz dźwigniowy, 2 – wałek rozrządu silnika, 3 – zawór elektromagnetyczny, 4 – rozpylacz, 5 – złącze elektryczne, 6 – końcówka tłoczka, 7 – pompowtryskiwacz, 8 – komora spalania silnika

wtrysku. Ma to negatywny wpływ na pracę silników ZS, przejawiający się zwiększeniem zużycia paliwa, toksyczności spalin oraz hałaśliwości pracy silnika.

Ponadto wysokie ciśnienie paliwa tłoczonego przez pompę wtryskową do wtryskiwaczy jest niejednokrotnie przyczyną pęknięcia przewodów wysokociśnieniowych.

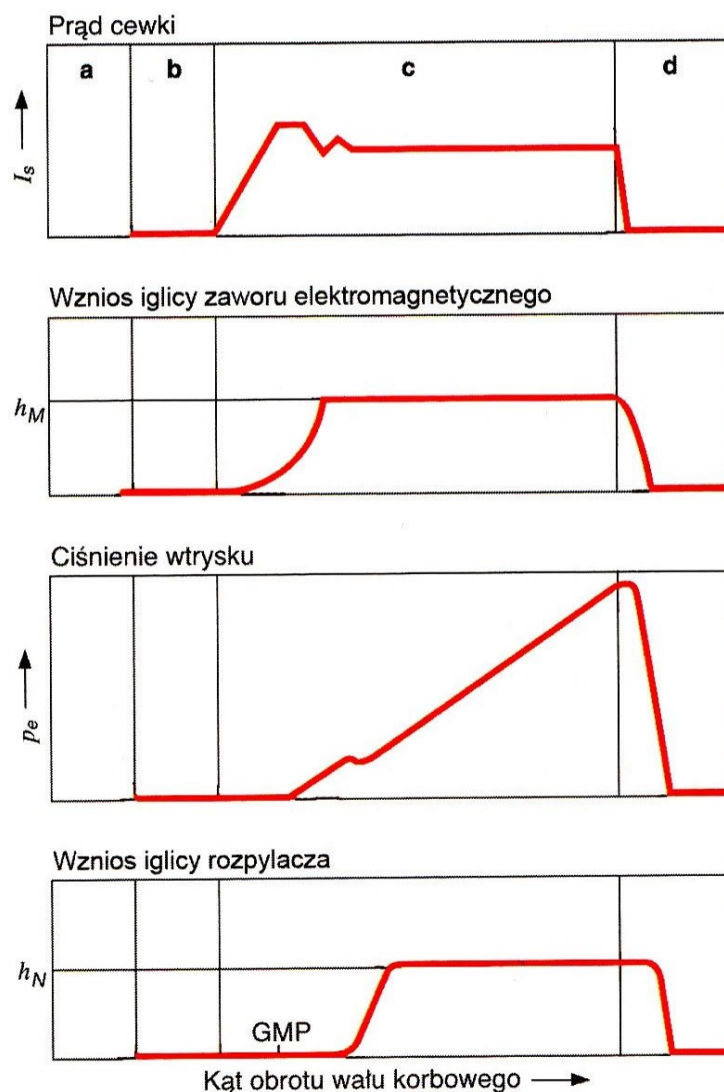
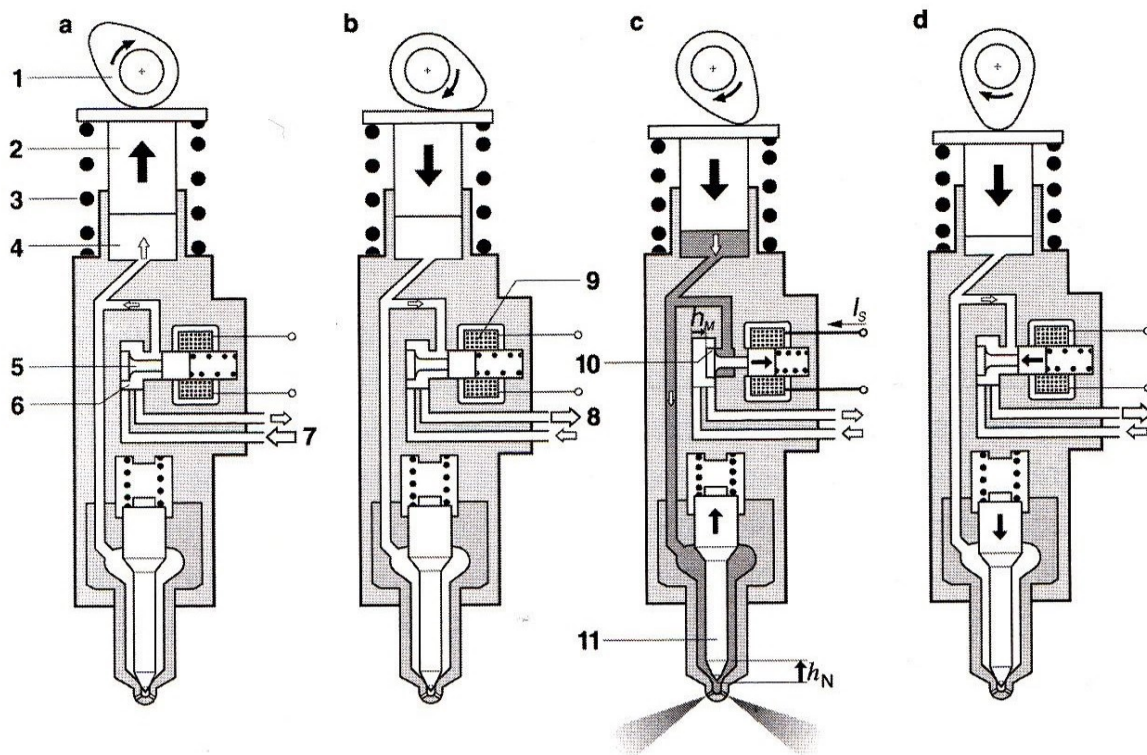
Wymienionych wad nie mają sterowane elektronicznie indywidualne układy tłocząco-wtryskowe bez przewodu wysokociśnieniowego, nazwane pompowtryskiwaczami UI (ang. *Unit Injector*). Działanie pompowtryskiwacza można wyjaśnić na przykładzie pompowtryskiwacza napędzanego mechanicznie.

Działanie pompowtryskiwacza jest identyczne z działaniem jednej sekcji tłoczącej rzędowej pompy wtryskowej. Dzięki zwartej budowie i niewielkim wymiarom, dawki paliwa wtryskiwanego do cylindra oraz początek wtrysku są odmierzane z dużą dokładnością. Rozmieszczenie pompowtryskiwaczy na kadłubie silnika przedstawiono na rys. 6.61.

Pompowtryskiwacze są napędzane przez wałek rozrządu za pośrednictwem dodatkowych krzywek i dźwigni. Konstrukcja tłoka jest prosta, bez dodatkowych prowadnic. W działaniu każdego zespołu wtryskowego można wyodrębnić cztery stany – skoki (rys. 6.62):

- ssania,
- wstępny,
- tłoczenia połączony z procesem wtrysku paliwa,
- resztkowy.

Podczas skoku ssania (rys. 6.60a) krzywka 1 nie dociska tłoka 2, który jest unoszony przez sprężynę powrotną 3. W trakcie ruchu do góry tłok zasysa paliwo do



Rys. 6.62. Działanie pompowtryskiwacza [52]

a – skok ssania, b – skok wstępny, c – skok tłoczenia, d – skok reszkowy; 1 – krzywka napędowa, 2 – tłoczek, 3 – sprężyna powrotna, 4 – przestrzeń wysokiego ciśnienia, 5 – iglica zaworu elektromagnetycznego, 6 – przestrzeń zaworu elektromagnetycznego, 7 – kanał dopływowy, 8 – kanał przelewowy, 9 – cewka napędowa iglicy zaworu, 10 – gniazdo zaworu elektromagnetycznego, 11 – iglica rozpylacza, h_M – wznios iglicy zaworu elektromagnetycznego, h_N – wznios iglicy rozpylacza, I_s – prąd cewki zaworu elektromagnetycznego, p_e – ciśnienie wtrysku

przestrzeni wysokiego ciśnienia 4 za pośrednictwem przestrzeni elektrozaworu 6. W tym czasie zawór ten jest otwarty i udrażnia kanał dopływowy 7.

Obracająca się krzywka 1 dociska tłok 2, inicjując skok wstępny (rys. 6.60b). Zawór elektromagnetyczny jest jeszcze wtedy otwarty i poruszający się do dołu tłok spiętrzane pod nim paliwo przepycha przez kanał przelewowy 8 do niskociśnieniowego obwodu zasilania.

Skok tłoczenia i wtrysku inicjuje zamknięcie elektrozaworu. W tym celu sterownik zasila cewkę 9 tego zaworu, która dociska iglicę 5 do gniazda 10. Zamknięty elektrozawór oddziela część niskociśnieniową od komory wysokiego ciśnienia 4. Jest to początek wtrysku. Zamknięcie elektrozaworu jest rozpoznawane przez sterownik na podstawie zmiany przebiegu prądu cewki napędowej 9.

Poruszany krzywką tłok zwiększa ciśnienie paliwa w komorze wysokiego ciśnienia do wartości ok. 30 MPa, przy której unosi się iglica rozpylacza 11 i paliwo zostaje wtrysknięte do komory spalania.

Po wyliczonym przez sterownik czasie wtrysku elektrozawór zostaje otwarty i po niewielkiej zwłoce czasowej komora wysokociśnieniowa jest ponownie połączona z niskociśnieniowym obwodem zasilania. W czasie zwłoki otwarcia elektrozaworu napędzany krzywką tłok wykonuje tzw. skok resztkowy (rys. 6.60d).

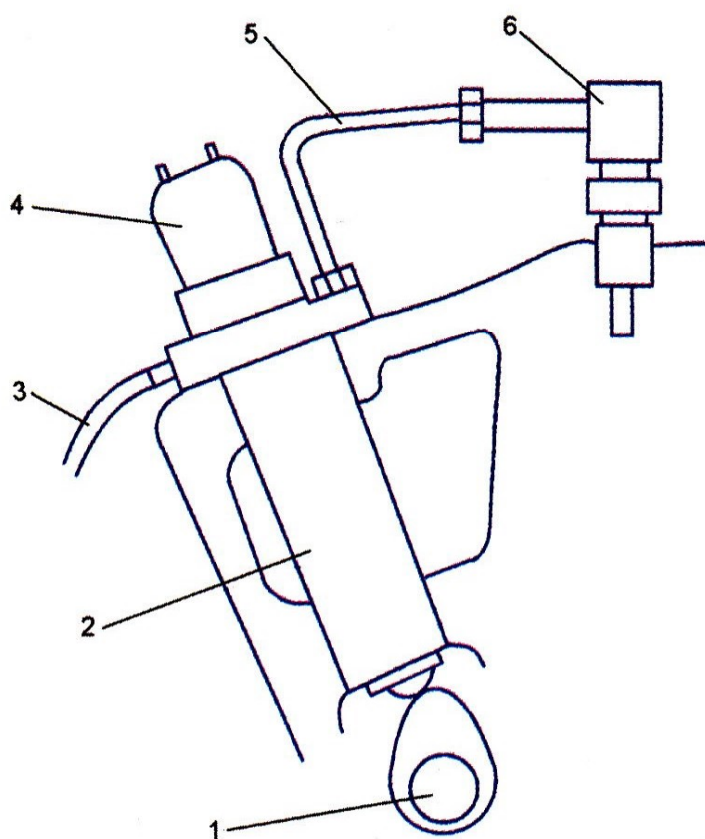
Między skokiem tłoczenia i skokiem resztkowym ciśnienie paliwa osiąga maksymalną wartość – od 180 do 205 MPa.

Na pompowtryskiwacze zamontowane w głowicy silnika działa wysoka temperatura. W celu jej obniżenia pompowtryskiwacze są chłodzone paliwem odprowadzanym do niskociśnieniowego obwodu zasilającego.

6.3.3.2. Układy wtryskowe z jednocyylindrowymi pompami sterowanymi zaworem elektromagnetycznym

Pompowtryskiwacze są stosowane w silnikach samochodów osobowych, natomiast w pojazdach użytkowych stosuje się indywidualne pompy wtryskowe uruchamiane zaworem elektromagnetycznym, połączone z wtryskiwaczem przewodem wysokociśnieniowym o niewielkiej długości (rys. 6.63).

Pompa sterowana zaworem elektromagnetycznym działa identycznie jak pompowtryskiwacz (rys. 6.62). Do na-



Rys. 6.63. Układ wtryskowy z pompą sterowaną zaworem elektromagnetycznym [21]

1 – krzywka wałka rozrządu, 2 – pompa wtryskowa, 3 – dopływ paliwa do pompy, 4 – zawór elektromagnetyczny, 5 – dopływ paliwa do wtryskiwacza, 6 – wtryskiwacz paliwa

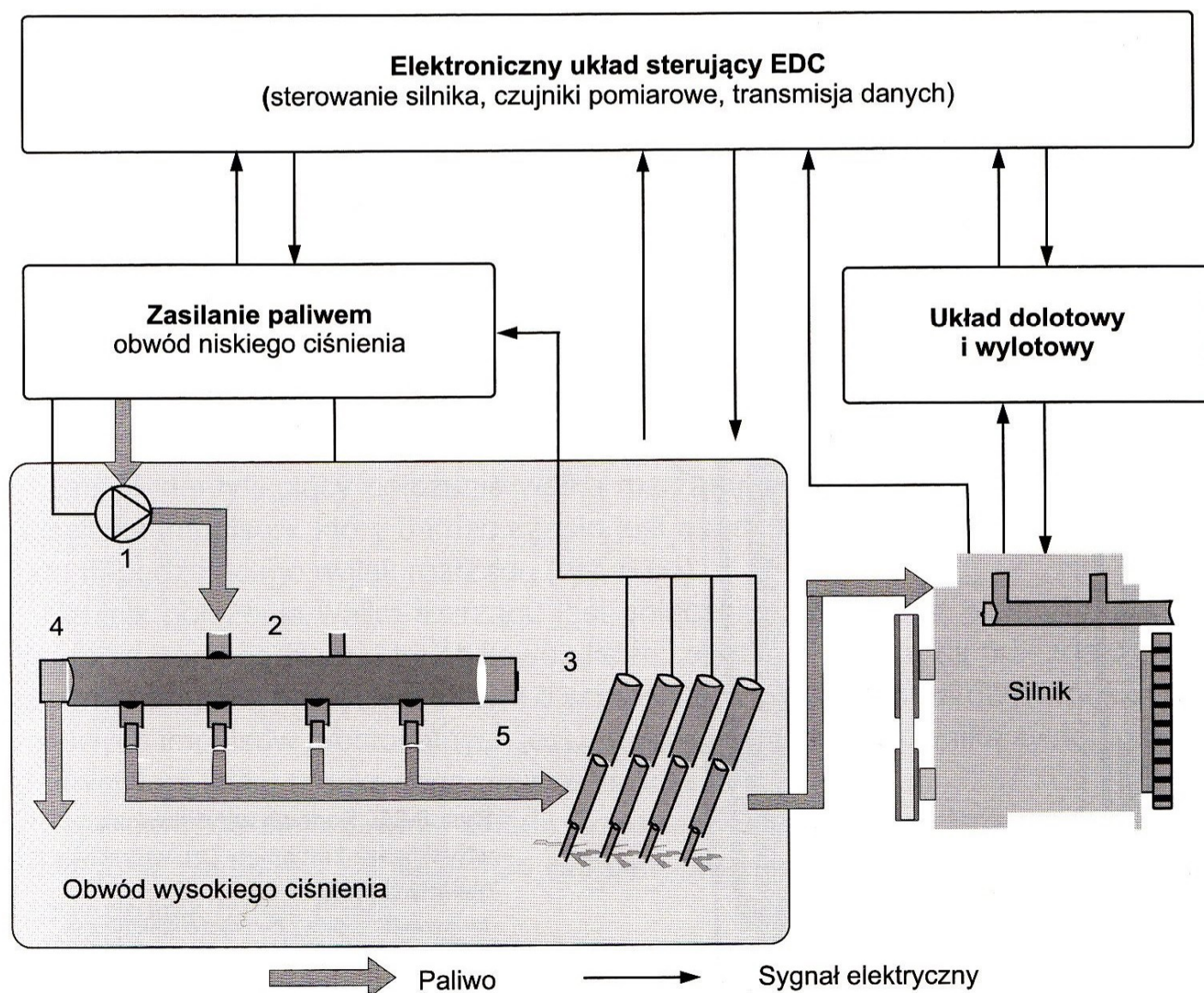
pędu pomp są wykorzystywane krzywki wałka rozrządu silnika. Niskociśnieniowym układem zasilania jest kanał znajdujący się w kadłubie silnika. Ciśnienie paliwa tłoczonego do wtryskiwacza ma wartość ok. 180 MPa. Dawka wtryskiwanego paliwa oraz czas wtrysku są określone czasem zamknięcia elektrozaworu sterowanego przez sterownik silnika.

6.3.3.3. Zasobnikowy układ wtryskowy Common Rail

Kolejnym układem wtrysku bezpośredniego jest zasobnikowy układ wtryskowy, tzw. Common Rail (CR). Jego cechą charakterystyczną jest podłączenie wszystkich wtryskiwaczy do wspólnego zasobnika z paliwem pod wysokim ciśnieniem. Ponadto w układzie CR rozdzielono wytwarzanie ciśnienia wtrysku i dawkowanie paliwa (rys. 6.64).

Układ sterujący silnika z wtryskiem CR tworzą dwa obwody paliwowe:

- niskiego ciśnienia, z podzespołami zasilania paliwem;
- wysokiego ciśnienia, zawierający pompę wysokiego ciśnienia, zasobnik paliwa oraz wtryskiwacze połączone z zasobnikiem przewodami wysokociśnieniowymi.



Rys. 6.64. Schemat funkcjonalny układu sterującego silnikiem ZS z wtryskiem Common Rail [56]

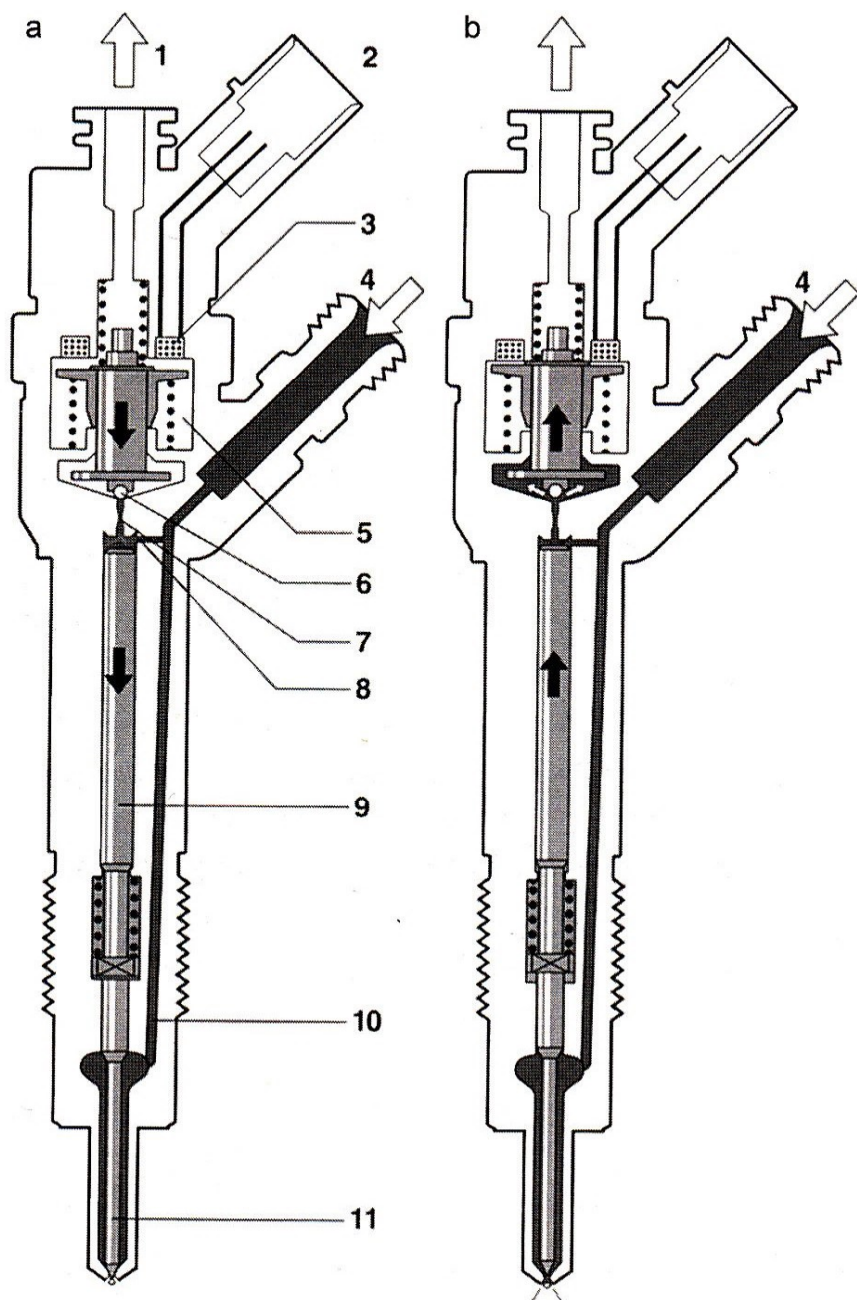
1 – pompa wysokiego ciśnienia, 2 – wysokociśnieniowy zasobnik paliwa, 3 – wtryskiwacze, 4 – zawór regulacji ciśnienia, 5 – czujnik ciśnienia

Pracę układu wtryskowego nadzoruje elektroniczny układ sterujący EDC. Układ ten określa dawkę wtryskiwanego paliwa oraz kąt wyprzedzenia wtrysku, odpowiednio do wartości sygnałów wyjściowych czujników pomiarowych proporcjonalnych do:

- prędkości obrotowej i kąta obrotu wału korbowego;
- ciśnienia paliwa w zasobniku wysokociśnieniowym;
- ciśnienia doładowania;
- temperatury powietrza w kolektorze dolotowym, temperatury cieczy chłodzącej silnik oraz temperatury paliwa;
- masy powietrza dopływającego za pośrednictwem kolektora dolotowego do silnika;
- prędkości jazdy samochodu.

Bardzo istotnymi elementami obwodu wysokiego ciśnienia są wtryskiwacze wyposażone w elektromagnetyczny lub piezoelektryczny zawór otwierający i zamykający rozpylacz.

W układach wtryskowych CR ciśnienie paliwa jest dostosowane do punktu pracy silnika, ponadto wytwarzanie ciśnienia oraz wtrysk paliwa są niezależne. Ciśnienie paliwa w zasobniku ma wartość niezależną od prędkości obrotowej i wynosi zwykle co



Rys. 6.65. Budowa wtryskiwacza: wtryskiwacz zamknięty (a), wtryskiwacz otwarty (b) [18]

1 – przelew paliwa, 2 – złącze elektryczne, 3 – zawór sterujący 2/2, 4 – dopływ paliwa, 5 – przestrzeń sterowania zaworem, 6 – kula kotwicy zaworu, 7 – dławik odpływu, 8 – dławik dopływu, 9 – tłoczek sterujący zaworu, 10 – kanał dopływu paliwa do rozpylacza, 11 – iglica rozpylacza

najmniej 150 MPa. Kiedy osiągnie taką wartość, wtedy sterownik silnika inicjuje wtrysk paliwa, zasilając cewkę wtryskiwacza prądem przyciągania o wartości 20 A. Czas wtrysku paliwa określa czas przepływu prądu przez cewkę. Elektromagnes wtryskiwacza nie może wytworzyć dużej siły niezbędnej do szybkiego podniesienia iglicy rozpylacza. Dlatego podnoszenie iglicy wspomaga układ hydrauliczny wtryskiwacza, za pośrednictwem którego paliwo wpływające do wtryskiwacza pod wysokim ciśnieniem unosi iglicę, otwierając wylot rozpylacza. Na rysunku 6.65 pokazano przekrój wtryskiwacza elektromagnetycznego w stanie wtrysku oraz w stanie spoczynkowym.

Impulsowy przebieg prądu zasilającego wtryskiwacz początkowo ma dużą wartość – od 19 do 20 A – która zapewnia szybkie uniesienie iglicy rozpylacza. Po upływie ok. 0,4 ms, gdy ogranicznik ruchu iglicy uderzy o swoje gniazdo, prąd przyjmuje wartość podtrzymania wynoszącą od 10 do 11 A. Zmniejszenie prądu do tej wartości przyspiesza zamykanie wtryskiwaczy. Między impulsami wtrysku zasadniczego oraz impulsami wtrysku wstępnego o szerokości 0,4 ms występuje ciąg oscylacji ładujących kondensator zasilający cewkę wtryskiwacza napięciem samoindukcji tej cewki, powstającym po jej wyłączeniu.

Układ CR (rys. 6.64) jest wyposażony w zestaw czujników i nastawników, podobnie jak inne układy wtryskowe silników ZI.

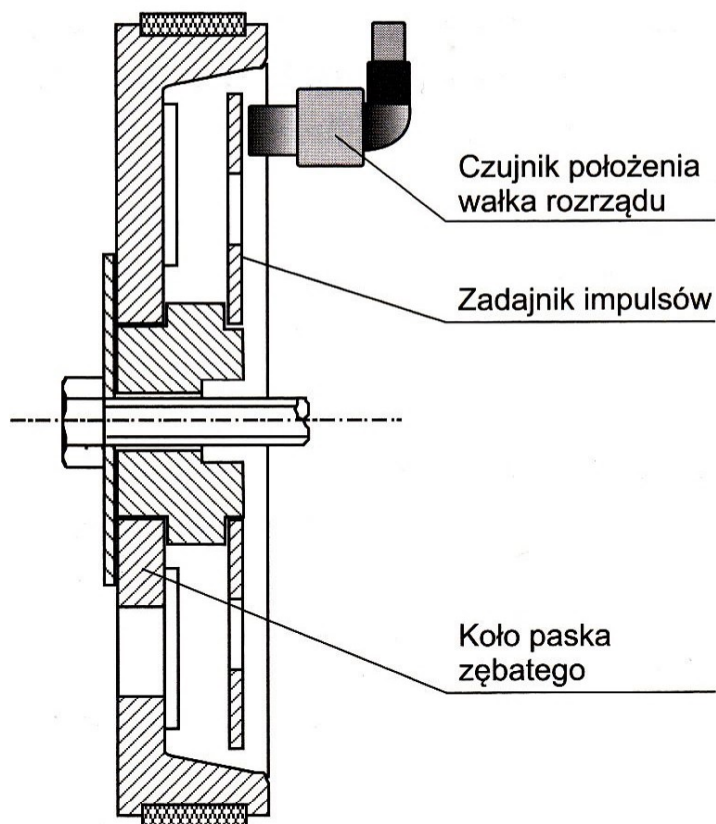
W układzie CR wtryskiwacze są uruchamiane oddzielnie i dlatego prawidłowe ich wysterowanie wymaga informacji nie tylko o bieżącym położeniu wału korbowego, ale również o położeniu wałka rozrządu, w celu rozpoznawania cylindrów. Czujnik monitorujący położenie wału korbowego jest czujnikiem indukcyjnym współpracującym z zadajnikiem impulsów zamocowanym na kole zamachowym. Zadajnik ten jest kołem zębatym o 60 minus 2 zębach (w pewnym miejscu obwodu brakuje dwóch zębów), których odległość kątowa jest równa 6° OWK. Fragment koła zębatego, gdzie brakuje zębów pojawia się w zasięgu pola magnetycznego czujnika przed położeniem wału korbowego odpowiadającym GMP tłoka pierwszego cylindra. Brak sygnału z czujnika położenia wału korbowego nie pozwala na uruchomienie silnika.

Zespół identyfikujący położenie wałka rozrządu składa się z czujnika Halla oraz nadajnika impulsów, który bardzo często jest osadzony wewnątrz koła paska zębatego napędzającego wałek rozrządu (rys. 6.66).

Czujnik położenia wałka rozrządu jest połączony z instalacją elektryczną samochodu za pomocą złączki trójstykowej, której zewnętrzne styki są przeznaczone do zasilenia czujnika napięciem stałym o wartości 5 V. Sygnał pomiarowy w postaci unipolarnych impulsów prostokątnych jest przekazywany do sterownika systemu za pośrednictwem styku środkowego oraz styku masy.

Prawidłowe funkcjonowanie układu Common Rail zależy od ciśnienia oleju napędowego w zasobniku ciśnienia. Do pomiaru wartości tego ciśnienia jest przeznaczony czujnik 5 (rys. 6.64).

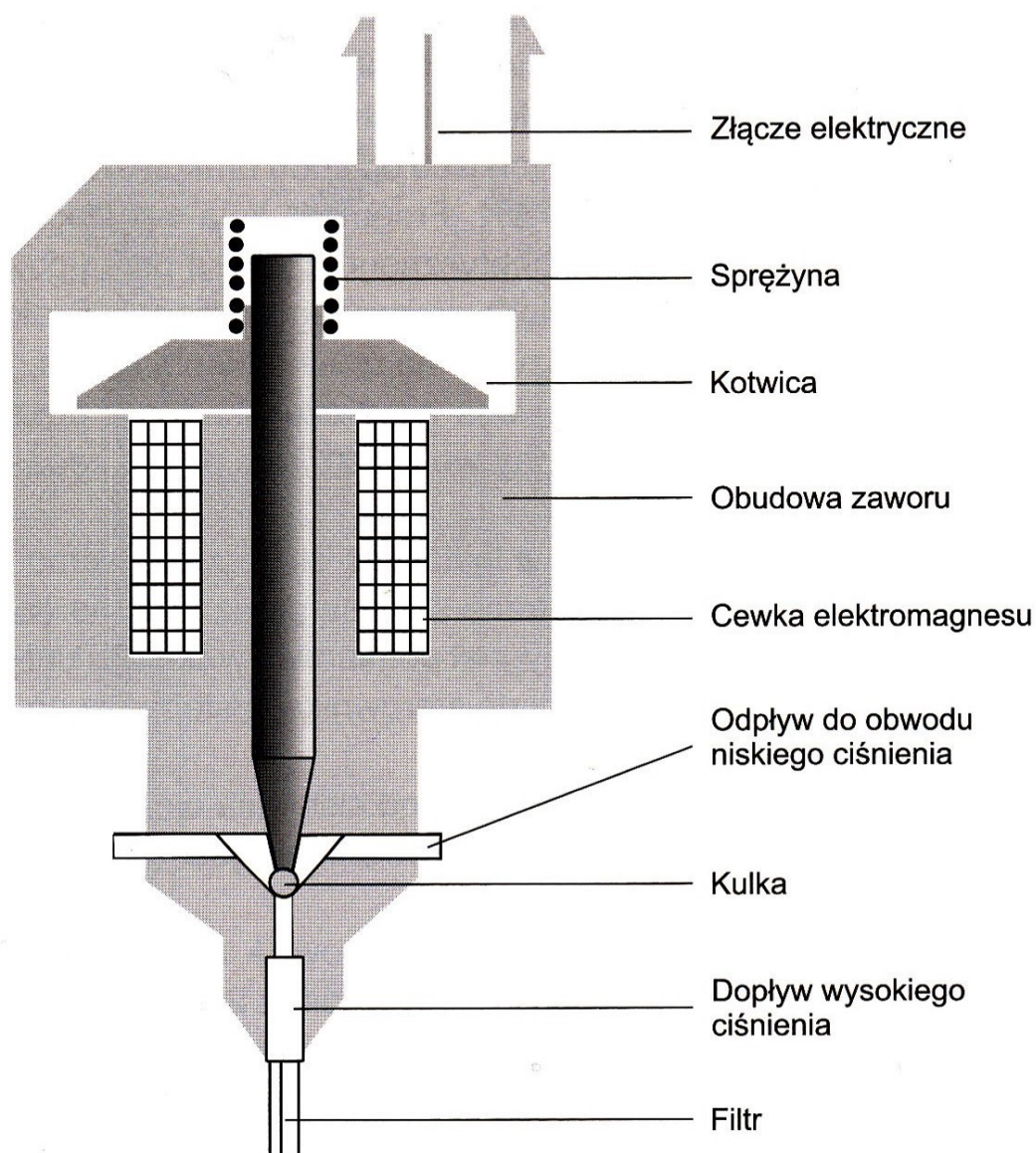
W przypadku gdy czujnik ciśnienia ulegnie uszkodzeniu, sterownik układu przestaje regulować ciśnienie w zasobniku paliwa i zwiększa jego wartość z 25 do 40 MPa na biegu jałowym silnika. Przy takiej wartości ciśnienia biegu jałowego praca silnika jest twarda. Uszkodzenie czujnika ciśnienia paliwa w zasobniku pozwala na uruchomienie silnika.



Rys. 6.66. Sposób zamocowania czujnika położenia wałka rozrządu [56]

Podczas pracy silnika czujnik ciśnienia 5 (rys. 6.64) monitoruje w sposób ciągły wartość ciśnienia w zasobniku i porównuje ją z wartością wyznaczoną z charakterystyki zapisanej w pamięci sterownika układu. Jeśli wystąpi różnica między wartością zmierzoną oraz wartością zadaną przebiegiem charakterystyki, sterownik dostosowuje stopień udrożnienia zaworu regulacyjnego 4 (rys. 6.64) odpowiednio do tej różnicy ciśnień. Sposób sterowania zaworu jest określony jego działaniem (rys. 6.67).

Zawór regulacyjny jest elektromagnetycznym zaworem kulkowym, którego działanie określa siła nacisku sprężyny wspomagana siłą elektromagnetyczną. Siła sprężyny pozwala na utrzymanie w zasobniku ciśnienia nieprzekraczającego 10 MPa, przy którym praca silnika



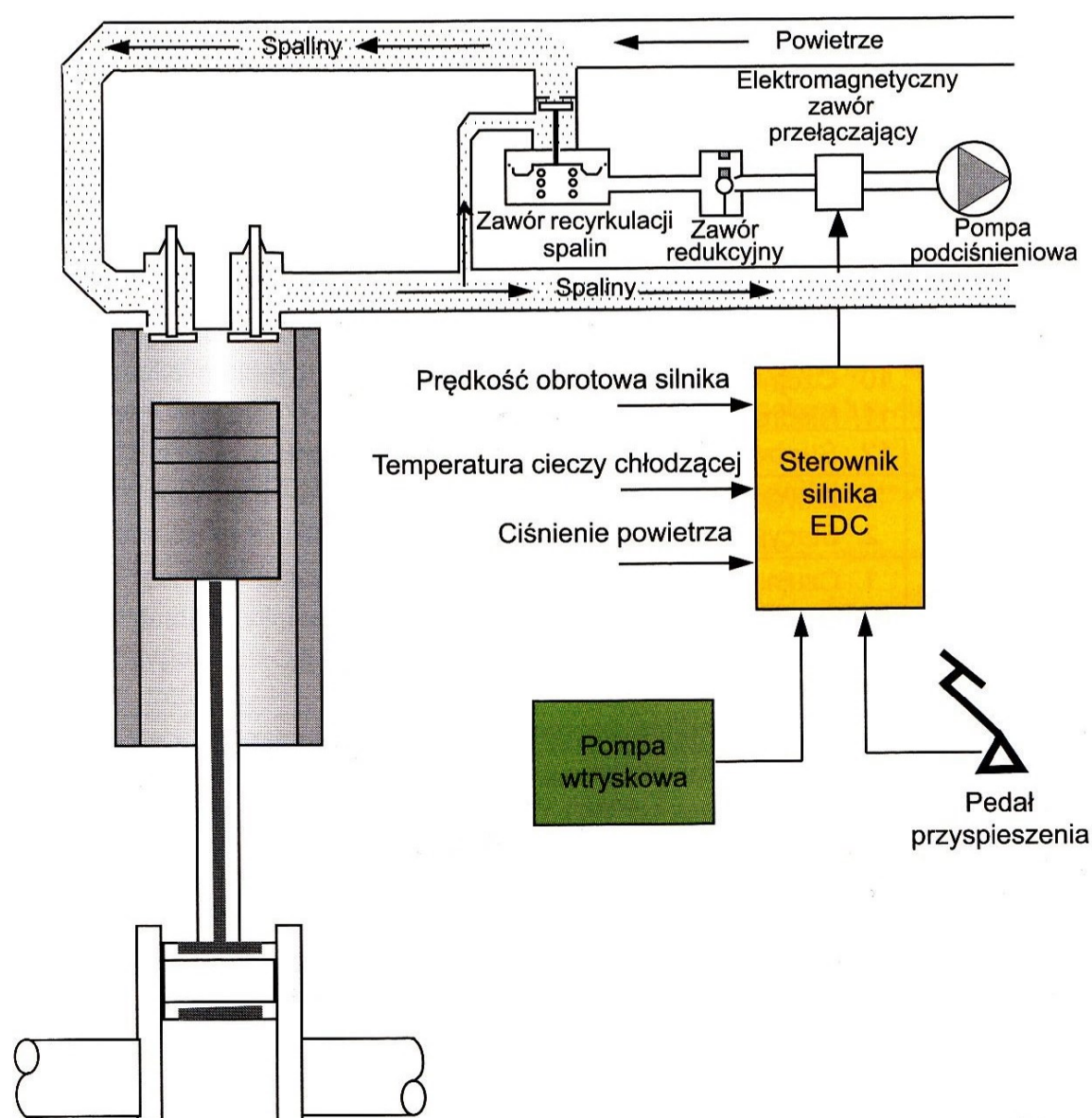
Rys. 6.67. Zawór regulacyjny ciśnienia [56]

nie jest możliwa. Po uruchomieniu silnika sterownik zasila cewkę elektromagnesu tak, aby niezależnie od obciążenia silnika ciśnienie w zasobniku miało stałą wartość. W tym celu cewka zaworu jest zasilana przez sterownik sygnałem impulsowym o szerokości i częstotliwości impulsów tak dobranej, aby elektromagnetyczna siła przyciągania nie powodowała zakłóceń w ruchu kotwicy oraz wahań ciśnienia w zasobniku.

W układzie Common Rail zmniejszenie emisji szkodliwych składników spalin oraz zmniejszenie hałasu silnika uzyskano dzięki wtryskowi wstępnemu oraz wtryskowi wielokrotnemu. Znaczne zmniejszenie udziału tlenków azotu w spalinach można uzyskać, stosując obwód recyrkulacji spalin, odprowadzający część spalin do przewodu dolotowego silnika. W tym celu kolektor dolotowy oraz kolektor wylotowy są połączone odpowiednio skonstruowanym zaworem recyrkulacji spalin (rys. 6.68).

Zawór recyrkulacji spalin jest sterowany podciśnieniem wytwarzanym przez pompę podciśnieniową. Zawór ten jest otwierany przez sterownik silnika, łączący cewkę napędową z masą. W przypadku braku tego sygnału zawór recyrkulacji spalin jest zamknięty. Przy otwieraniu obwodu recyrkulacji sterownik silnika (EDC) uwzględnia prędkość obrotową silnika.

W celu uzyskania lepszych osiągnięć silników ZS, podobnie jak w silnikach ZI jest stosowane turbodoładowanie.



Rys. 6.68. Recyrkulacja spalin w silniku ZS [56]

6.3.4. Diagnostyka i rozpoznawanie usterek

Złożoność i skomplikowana budowa układów elektronicznych sterujących pracą silników o zapłonie samoczynnym, nie pozwala na dokładny opis diagnozowania i usuwania wszystkich usterek występujących w tych układach. Dlatego poniżej w tabeli 6.3 zestawiono objawy najczęściej występujących usterek oraz lokalizację ich ewentualnych przyczyn. Znajomość tych przyczyn w połączeniu z wynikami badań układu za pomocą specjalistycznego diagnostyki pozwoli na szybkie zlokalizowanie i usunięcie usterki.

Tabela 6.3.

Typowe usterki układów sterujących wtryskiem paliwa silników ZS oraz ich przyczyny [15, 20, 24]

Lp.	Objawy	Lokalizacja przyczyny
1	2	3
1	Trudne uruchamianie zimnego silnika	1. Świece żarowe lub układ sterujący pracą tych świec 2. Przekaznik świec żarowych 3. Połączenia elektryczne czujnika temperatury cieczy chłodzącej 4. Czujnik prędkości obrotowej silnika 5. Przetawiacz wtrysku pompy wtryskowej 6. Nastawnik dawki paliwa – wysunięcia listwy w pompach rzędowych
2	Trudne uruchamianie silnika niezależnie od jego temperatury	1. Przekaznik w obwodzie zasilania układu sterowania silnika 2. Czujnik prędkości obrotowej silnika 3. Przetawiacz wtrysku 4. Elektromagnetyczny nastawnik dawki lub sterownik pompy 5. Pompa wysokiego ciśnienia lub czujnik ciśnienia w zasobniku (Common Rail) 6. Zapowietrzony układ zasilania 7. Parafina w paliwie wytrącająca się w niskiej temperaturze 8. Zawór STOP pompy wtryskowej 9. Brak dawki rozruchowej 10. Czujnik temperatury paliwa 11. Niedrożny filtr paliwa 12. Sterownik silnika
3	Nie można zatrzymać pracy silnika	1. Zawór STOP 2. Stacyjka
4	Nierównomierna praca silnika na biegu jałowym	1. Czujnik położenia pedału przyspieszenia 2. Czujnik temperatury cieczy chłodzącej 3. Czujnik temperatury paliwa 4. Czujnik położenia wału korbowego 5. Czujnik prędkości obrotowej silnika
5	Emisja czarnego dymu	1. Czujnik temperatury cieczy chłodzącej 2. Przetawiacz wtrysku 3. Nastawnik dawki paliwa lub sterownik pompy 4. Zawór EGR 5. Turbosprężarka 6. Czujnik ciśnienia doładowania 7. Przepływomierz powietrza 8. Czujnik prędkości obrotowej silnika 9. Czujnik położenia pedału przyspieszenia 10. Ustawienie początku wtrysku 11. Filtr paliwa 12. Wtryskiwacz (wtryskiwacze)

1	2	3
6	Nadmierne zużycie paliwa przez silnik	1. Czujnik temperatury cieczy chłodzącej 2. Przetawiacz wtrysku 3. Filtr powietrza 4. Wtryskiwacze 5. Nieszczelności układu zasilania 6. Pilotująca sonda lambda 7. Regulator ciśnienia w zasobniku paliwa (Common Rail) 8. Czujnik ciśnienia w zasobniku paliwa (Common Rail)
7	Brak przyspieszenia – silnik nie osiąga wymaganej prędkości obrotowej	1. Przepływomierz powietrza 2. Czujnik prędkości jazdy lub czujnik prędkości obrotowej silnika 3. Czujnik temperatury paliwa 4. Czujnik położenia pedału przyspieszenia
8	Zbyt duża prędkość obrotowa biegu jałowego	1. Czujnik położenia pedału przyspieszenia 2. Czujnik prędkości jazdy 3. Czujnik prędkości obrotowej pompy wtryskowej
9	Zbyt mała prędkość obrotowa biegu jałowego	1. Czujnik temperatury cieczy chłodzącej 2. Czujnik temperatury paliwa
10	Brak mocy silnika	1. Przetawiacz wtrysku 2. Czujnik temperatury cieczy chłodzącej 3. Czujnik położenia wału korbowego 4. Czujnik położenia pedału przyspieszenia 5. Turbosprężarka 6. Czujnik ciśnienia doładowania 7. Przepływomierz powietrza 8. Czujnik temperatury paliwa 9. Zanieczyszczony filtr powietrza 10. Zanieczyszczony filtr paliwa
11	Zbyt duża wartość maksymalnej prędkości obrotowej silnika	1. Przetawiacz wtrysku 2. Czujnik prędkości obrotowej silnika 3. Nastawnik dawki paliwa lub sterownik pompy
12	Zbyt mała wartość maksymalnej prędkości obrotowej silnika	1. Przetawiacz wtrysku 2. Czujnik położenia pedału przyspieszenia
13	Przerwy w pracy cylindrów silnika (wypadanie cylindrów z pracy)	1. Wtryskiwacze 2. Zanieczyszczony filtr paliwa 3. Ustawienie początku wtrysku 4. Czujnik położenia wałka rozrządu
14	Praca stukowa (twarda) silnika	1. Przetawiacz wtrysku 2. Nastawnik dawki paliwa lub sterownik pompy 3. Czujnik wzniosu iglicy wtryskiwacza 4. Czujnik położenia wałka rozrządu 5. Czujnik temperatury cieczy chłodzącej 6. Wtryskiwacze 7. Ustawienie początku wtrysku

6.4. Pytania i zadania

1. Wyjaśnij przeznaczenie układów wtrysku paliwa silników spalinowych.
2. Narysuj schemat funkcjonalny układu pośredniego wtrysku paliwa silników o zapłonie iskrowym.
3. Jakie czujniki wykorzystuje układ pośredniego wtrysku paliwa silników ZI? Wyjaśnij przeznaczenie tych czujników.
4. Do czego jest przeznaczony przepływomierz powietrza w kanale dolotowym? Jakie znasz rodzaje przepływomierzy?
5. Jak działa przepływomierz z przesłoną spiętrzającą LMM? Narysuj przekrój części mechanicznej tego przepływomierza i opisz przeznaczenie jego podzespołów.
6. Który z podzespołów przepływomierza LMM jest połączony z potencjometrem obrotowym? Do czego jest przeznaczony ten potencjometr?
7. Narysuj schemat elektryczny połączenia przepływomierza LMM i sterownika silnika. Opisz działanie tego układu.
8. Opisz budowę i działanie przepływomierza termooanemometrycznego HML.
9. Narysuj i opisz działanie układu elektrycznego przepływomierza termooanemometrycznego.
10. Opisz działanie przepływomierza kalorymetrycznego. Wyjaśnij, dlaczego przepływomierz ten określa kierunek przepływu powietrza w kanale dolotowym.
11. Jak jest zbudowany i jak działa przepływomierz mikromechaniczny HFM5?
12. Narysuj schemat blokowy układu regulacji lambda i opisz działanie tego układu.
13. Opisz budowę i działanie układu elektrycznego rezystancyjnej (tytanowej) sondy lambda. Narysuj charakterystykę tej sondy.
14. Jaka jest różnica w budowie i działaniu sondy lambda tytanowej oraz sondy napięciowej? Dlaczego takie sondy są nazywane sondami skokowymi?
15. Jak działa ogrzewana sonda palcowa typu LSH24? Dlaczego w sondzie tej jest wmontowany grzejnik?
16. Narysuj schemat funkcjonalny planarnej sondy λ i opisz jej działanie.
17. Narysuj przebieg charakterystyki sondy szerokopasmowej.
18. Jakie jest przeznaczenie układu zasilania silników spalinowych?
19. Narysuj i opisz działanie układu zasilania paliwem silnika z wtryskiem pośrednim z odpływem nadmiaru paliwa.
20. Do czego jest przeznaczony moduł zasilania w paliwo?
21. Jakie znasz układy zasilania paliwem silników ZI z wtryskiem pośrednim?
22. Narysuj i opisz działanie układu zasilania paliwem silnika o wtrysku bezpośrednim.
23. Jak działa i jak jest zbudowana przepływowa pompa paliwa?
24. Opisz budowę i działanie pompy wysokiego ciśnienia. W jakim układzie zasilania paliwem taka pompa jest stosowana?
25. Opisz budowę wtryskiwacza elektromagnetycznego niskociśnieniowego.
26. Jak działa wtryskiwacz wysokociśnieniowy?
27. Opisz budowę zaworu regulacji ciśnienia układu zasilającego paliwem.

28. Opisz budowę, działanie i przeznaczenie regulatora ciśnienia paliwa.
29. Narysuj i opisz działanie układu wielopunktowego wtrysku pośredniego L-Jetronic.
30. Do czego jest przeznaczony wyłącznik czasowo-termiczny w układzie L-Jetronic?
31. Jak działa zawór suwakowy powietrza dodatkowego?
32. Narysuj diagram czasowy wielopunktowych układów pośredniego wtrysku paliwa.
33. Narysuj schemat elektryczny układu L-Jetronic i opisz jego działanie.
34. Opisz przeznaczenie i budowę elektrycznego przekaźnika sterującego układem L-Jetronic.
35. Wyjaśnij, jak działa jednopunktowy wtrysk paliwa. Narysuj schemat funkcjonalny takiego układu.
36. Narysuj schemat funkcjonalny układu Motronic i opisz jego działanie.
37. Do czego jest przeznaczony elektromechaniczny obrotowy nastawnik prędkości biegu jałowego?
38. Jak działa układ elektronicznego pedału przyspieszenia (EGAS)?
39. Jak działa układ wielopunktowego bezpośredniego wtrysku benzyny? Jakie są zalety takiego układu w porównaniu z układem wtrysku pośredniego?
40. W jakim celu wprowadzono obwody recyrkulacji spalin oraz doładowanie silników spalinowych?
41. Opisz budowę i działanie turbosprężarki.
42. Na czym polega elektronizacja układów sterowania silników o zapłonie samoczynnym?
43. Narysuj schemat funkcjonalny sterowania silnikiem ZS.
44. Do czego jest przeznaczony czujnik położenia pedału przyspieszenia w układzie sterowania silnika ZS?
45. Jak działa wtryskiwacz dwusprężynowy z czujnikiem wzniosu iglicy?
46. Jak działa indukcyjny czujnik wzniosu iglicy?
47. Do czego jest przeznaczony czujnik ciśnienia powietrza w kanale dolotowym silników ZS?
48. Opisz zasadę działania indukcyjnego czujnika nastawnika dawki paliwa pompy rotacyjnej.
49. Narysuj obwód świec żarowych silników ZS. Jak działa taki obwód?
50. Jakie znasz rodzaje pomp wtryskowych stosowanych w silnikach ZS?
51. Jak działają podzespoły elektromechaniczne osiowej pompy rozdzielaczowej?
52. Opisz działanie programu sterownika osiowej pompy rozdzielaczowej.
53. Jak działają podzespoły elektromechaniczne pompy rządowej?
54. Narysuj schemat blokowy i opisz działanie układu elektronicznej regulacji prędkości obrotowej wtryskowej pompy rządowej.
55. Jakie znasz niekonwencjonalne układy wtryskowe?
56. Jak działa pompowtryskiwacz? Po co wprowadzono taki sposób wtrysku paliwa silników ZS?
57. Jak działa układ wtryskowy z jednocyldrową pompą sterowaną zaworem elektromagnetycznym?

58. W jakich samochodach są stosowane pompowtryskiwacze, a w jakich jednocylindrowe pompy wtryskowe?
59. Narysuj schemat funkcjonalny i opisz działanie układu sterującego silnikiem ZS z wtryskiem Common Rail.
60. Jak jest zbudowany wtryskiwacz stosowany w układzie Common Rail?
61. Do czego jest przeznaczony czujnik położenia wałka rozrządu w układzie wtryskowym Common Rail? Gdzie taki czujnik jest zamocowany?
62. Opisz przeznaczenie oraz miejsce zamocowania zaworu regulacyjnego ciśnienia paliwa w układzie Common Rail.
63. Jak działa i do czego służy recyrkulacja spalin w silnikach ZS?
64. Czy czujnik prędkości obrotowej silnika ma wpływ na pracę silnika ZS?
65. Czy skutkiem uszkodzenia zaworu EGR może być czarne dymienie silnika ZS?
66. Czy brak przyspieszenia może być skutkiem uszkodzenia przepływomierza powietrza?