

Elektroniczne sterowanie silników wysokoprężnych

Układ wtryskowy Common Rail

Wydanie 2000/2001



Informator techniczny



BOSCH

Dane o oryginalnej:
Elektronische Motorsteuerung für
Dieselmotoren
Diesel-Speichereinspritzsystem
Common Rail
Technische Unterrichtung
Ausgabe 2000/2001

© Robert Bosch GmbH, 2000
Postfach 30 02 20, D-70442
Stuttgart, Deutschland.

Tłumaczył z języka niemieckiego:
mgr inż. Antoni Szulborski

© Copyright for the Polish edition by
Wydawnictwa Komunikacji i Łączności sp. z
o.o., Warszawa 2000

Utwór w całości ani we fragmentach nie
może być powielany ani rozpowszechniany
za pomocą urządzeń elektronicznych,
mechanicznych, kopiujących,
nagrywających i innych bez pisemnej zgody
posiadacza praw autorskich.

ISBN 83-206-1351-5

Wydawnictwa Komunikacji
i Łączności sp. z o.o.
ul. Kazimierzowska 52,
02-546 Warszawa
tel. (0-22) 849-27-51;
fax (0-22) 849-23-22
Dział handlowy tel. 849-27-51 w. 555
tel./fax (0-22) 849-23-45
e-mail wkl@wkl.com.pl
Prowadzimy sprzedaż wysyłkową książek
Księgarnia firmowa w siedzibie wydawnictwa
tel. (0-22) 849-20-32,
czynna pon.-pt. 10.00-18.00
WKŁ w sieci Internet
<http://www.wkl.com.pl>
Wydanie 1. Warszawa 2000

Zakład Poligraficzno-Wydawniczy POZKAL
ul. Cegielnia 10/12, 88-100 Inowrocław
tel./fax (0-52) 354-27-00

Układ wtryskowy Common Rail

Przewozom samochodowym nieodłącznie towarzyszą problemy związane z ochroną środowiska i ekonomicznością transportu. Decydujące znaczenie w tej mierze mają źródła napędu, a zwłaszcza silniki wysokoprężne. Rosnące wymagania dotyczące mniejszego zużycia paliwa, mniejszej toksyczności spalin oraz coraz cichszej pracy silnika wysokoprężnego nie mogą już być spełnione przez układy wtryskowe z regulacją mechaniczną. Do spełnienia tych wymagań są niezbędne bardzo wysokie ciśnienia wtrysku oraz dokładnie określone przebiegi wtrysku i dawkowanie wtryskiwanego paliwa. W niniejszym informatorze technicznym zawarto wszystkie niezbędne wiadomości dotyczące układu wtryskowego Common Rail, jego elementów składowych, budowy i sposobu działania oraz opisano, w jaki sposób ten nowy układ spełnia wspomniane wyżej wymagania. Nowościami tego układu są: znajdujący się stale pod ciśnieniem zasobnik paliwa (zwany także szyną lub kolektorem), specjalna wysokociśnieniowa pompa paliwa oraz elektroniczne sterowanie. Układ wtryskowy Common Rail spełnia zastrzone wymagania dotyczące toksyczności spalin.

Przegląd układów wtryskowych	
Zastosowanie	2
Wymagania	2
Rodzaje	4

Zasobnikowy układ wtryskowy	
Common Rail	
Przegląd układu	6
Wtrysk paliwa	7
Zmniejszenie emisji spalin	10
Układ zasilania paliwem	11
Budowa i działanie elementów	13
Sterowanie elektroniczne EDC	27

Elektroniczny układ sterowania EDC	
Wymagania, przegląd	40
Przetwarzanie danych układu EDC	41
Transmisja danych do innych układów	42

Układy wspomaganie rozruchu	46
------------------------------------	-----------

Przegląd układów wtryskowych

Zastosowanie

Silniki wysokoprężne odznaczają się dużą sprawnością i dlatego są chętnie wykorzystywane w różnych zastosowaniach (rys. 1 i tabl. 1):

- silniki do napędu przenośnych agregatów prądotwórczych (do ok. 10 kW/cyl.),
- szybkoobrotowe silniki samochodów osobowych i lekkich samochodów użytkowych (do ok. 50 kW/cyl.),
- silniki dla budownictwa, gospodarki rolnej i leśnictwa (do ok. 80 kW/cyl.),
- silniki stacjonarne, np. awaryjne zespoły prądotwórcze (do ok. 160 kW/cyl.),
- silniki do lokomotyw i statków (do około 10 000 kW/cyl.).

Wymagania

Zaostrzające się przepisy dotyczące emisji spalin i hałasu oraz pożądane małe zużycie paliwa stawiają coraz większe wymagania dotyczące układu wtryskowego silnika wysokoprężnego.

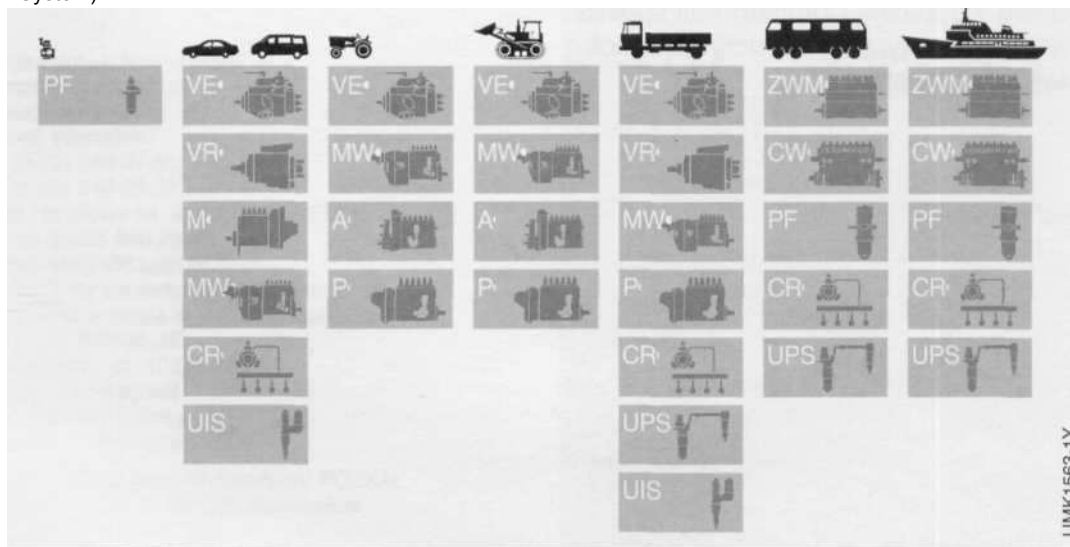
W szczególności, dla dobrego przygotowania mieszanki w zależności od rodzaju wtrysku (pośredni lub bezpośredni) oraz warunków pracy silnika, układ musi wtryskiwać do silnika paliwo pod ciśnieniem 35 do 205 MPa oraz dozować przy tym dawkę wtryskiwanego paliwa z maksymalnie możliwą dokładnością.

Regulacja obciążenia i prędkości obrotowej silnika wysokoprężnego polega na dozowaniu ilości paliwa bez dławienia zasysanego powietrza.

Rysunek 1

Zastosowanie układów wtryskowych Bosch przeznaczonych do silników wysokoprężnych

M, MW, A, P, ZWM, CW - pompy wtryskowe rzędowe (rosnące wielkości), PF - układ indywidualnych zespołów wtryskowych, VE - osiowe rozdzielaczowe pompy wtryskowe, VR - promieniowe rozdzielaczowe pompy wtryskowe, UPS - układ indywidualnych zespołów wtryskowych (Unit Pump System), UIS - układ pompowtryskiwaczy (Unit Injector System), CR - układ Common Rail (Common Rail System)



Mechaniczną regulację układów wtryskowych silników wysokoprężnych coraz częściej zastępują elektroniczne układy sterowania (EDC). Nowe układy wtryskowe przeznaczone do samochodów osobowych

i użytkowych są sterowane elektronicznie. Układy wtryskowe aktualnie stosowane w samochodowych silnikach wysokoprężnych przedstawiono w tabelicy.

Zastosowanie
, wymagania

Tablica 1 Właściwości i dane układów wtryskowych silników wysokoprężnych

Rodzaj	Wtrysk				Dane odniesione do silnika				
	Dawka w mm ³ /skok	Ciśnienie maksymalne wtrysku w MPa	m – mechaniczny, e – elektroniczny, em – elektromechaniczny, MV – zawór elektromagnetyczny	DI – wtrysk bezpośredni, IDI – wtrysk pośredni	VE – wtrysk wstępny, NE – dotrysk	Liczba cylindrów	Maks. prędkość obrotowa w obr/min	Maks. moc w KW/cyl.	
Rzędowe pompy wtryskowe									
M	60	55	m, e	IDI	–	4...6	5000	20	
A	120	75	m	DI / IDI	–	2...12	2800	27	
MW	150	110	m	DI	–	4...8	2600	36	
P 3000	250	95	m, e	DI	–	4...12	2600	45	
P 7100	250	120	m, e	DI	–	4...12	2500	55	
P 8000	250	130	m, e	DI	–	6...12	2500	55	
P 8500	250	130	m, e	DI	–	4...12	2500	55	
H 1	240	130	e	DI	–	6...8	2400	55	
H 1000	250	135	e	DI	–	5...8	2200	70	
Osiowe rozdzielaczowe pompy wtryskowe									
VE	120	120/35	m	DI / IDI	–	4...6	4500	25	
VE...EDC ¹⁾	70	120/35	e, em	DI / IDI	–	3...6	4200	25	
VE...MV	70	140/35	e, MV	DI / IDI	–	3...6	4500	25	
Promieniowe rozdzielaczowe pompy wtryskowe									
VR...MV	135	170	e, MV	DI	–	4, 6	4500	50	
Indywidualne zespoły wtryskowe									
PF(R)...	150... ...18 000	80... ...150	m, em	DI / IDI	–	dowolna	300... ...2000	75... ...1000	
UIS 30 ²⁾	160	160	e, MV	DI	VE	8 ^{3a)}	3000	45	
UIS 31 ²⁾	300	160	e, MV	DI	VE	8 ^{3a)}	3000	75	
UIS 32 ²⁾	400	180	e, MV	DI	VE	8 ^{3a)}	3000	80	
UIS-P1 ³⁾	62	205	e, MV	DI	VE	5 ^{3a)}	5000	25	
UPS 12 ⁴⁾	150	160	e, MV	DI	VE	8 ^{3a)}	2600	35	
UPS 20 ⁴⁾	400	180	e, MV	DI	VE	8 ^{3a)}	2600	80	
UPS (PF[R])	3000	140	e, MV	DI	–	6...20	1500	500	
Zasobnikowe układy wtryskowe Common Rail									
CR ⁵⁾	100	135	e, MV	DI	VE ^{5a)} /NE	3...8	5000 ^{5b)}	30	
CR ⁶⁾	400	140	e, MV	DI	VE ^{6a)} /NE	6...16	2800	200	

¹⁾ EDC - Electronic Diesel Control - sterowanie elektroniczne,

²⁾ UIS - Unit Injection System - układy pompowtryskiwaczy dla samochodów użytkowych,

^{3a)} UIS - Unit Injection System - układy pompowtryskiwaczy dla samochodów osobowych,

^{3a)} Z dwoma sterownikami są możliwe większe liczby cylindrów (UIS P1 od EDC 16: 6 cylindrów),

⁴⁾ UPS - Unit Pump System - układy złożone z zespołów pompa-przewód-wtryskiwacz dla samochodów użytkowych i autobusów,

⁵⁾ Układ Common Rail 1. generacji dla samochodów osobowych i lekkich samochodów użytkowych,

^{5a)} Do 90°OWK przed GMP (do wyboru),

⁶⁾ Układ Common Rail dla samochodów użytkowych, autobusów i lokomotyw spalinowych, ^{6a)} Do 30°OWK przed GMP

Rodzaje

Rzędowe pompy wtryskowe

Rzędowe pompy wtryskowe mają odrębną dla każdego cylindra silnika jedną parę precyzyjną składającą się z cylinderka i tłoczka. Tłoczek jest poruszany w kierunku tłoczenia przez wbudowany w pompę i napędzany od silnika wałek krzywkowy w kierunku tłoczenia, a cofany przez sprężynę powrotną. Sekcje tłoczące są najczęściej usytuowane szeregowo. Skok tłoczka jest niezmienny. Skośna krawędź sterująca w górnej części tłoczka obracanego listwą zębatą pompy umożliwia zmianę tzw. skoku roboczego tłoczka i dawki paliwa. Pomiedzy przestrzenią wysokiego ciśnienia pompy a początkiem przewodu wtryskowego w zależności od warunków wtrysku są umieszczone dodatkowe zaworki odcinające. Ustawiają one dokładnie koniec wtrysku, zmniejszają dotrysk w rozpylaczu i zapewniają równomierną charakterystykę pompy.

Standardowa pompa wtryskowa rzędowa PE

Tłoczenie paliwa rozpoczyna się po zasłonięciu otworka zasilającego przez górną krawędź tłoczka. Nacięta skośnie na głowce tłoczka krawędź sterująca, odsłaniająca otworek zasilający określa dawkę wtryskiwanego paliwa. Listwa zębatą pompy jest sterowana mechanicznym regulatorem odśrodkowym lub nastawnikiem elektrycznym.

Suwakowa rzędowa pompa wtryskowa

Suwakowa rzędowa pompa wtryskowa różni się od zwykłej pompy rzędowej suwakiem poruszającym się na tłoczku pompy, dzięki któremu za pomocą dodatkowego wałka ustawczego można zmieniać początek tłoczenia lub początek wtrysku. Położenie suwaka ustawia się zależnie od różnych czynników. Pompa rzędowa suwakowa w porównaniu ze standardową pompą PE ma dodatkowy stopień swobody.

Rozdzielaczowe pompy wtryskowe

Rozdzielaczowe pompy wtryskowe mają mechaniczny regulator prędkości obrotowej

lub regulator elektroniczny z wbudowanym przestawiaczem wtrysku. Mają tylko **jedną** parę precyzyjną wytwarzającą wysokie ciśnienie dla wszystkich cylindrów.

Osiowa rozdzielaczowa pompa wtryskowa

W osiowej pompie rozdzielaczowej pompa zasilająca łopatkowa tłoczy olej napędowy do przestrzeni pompy. Centralny tłok rozdzielczy (tłokorozdzielacz), obracany poprzez tarczę skokową wytwarza wysokie ciśnienie oraz rozdziela paliwo do poszczególnych cylindrów. Podczas jednego obrotu wałka napędowego tłok wykonuje tyle skoków, ile cylindrów silnika należy zasilić. Krzywki na tarczy skokowej obtaczając się po rolkach pierścienia rolkowego wywołują w tłokorozdzielaczu oprócz obrotowego dodatkowy ruch posuwisty. W osiowej rozdzielaczowej pompie wtryskowej VE z mechanicznym regulatorem odśrodkowym lub elektronicznie regulowanym nastawnikiem, skok użyteczny i dawkę paliwa określa suwak regulacyjny. Początek wtrysku pompy może być zmieniany poprzez pierścień rolkowy (przestawiacz kąta wtrysku). W osiowych pompach rozdzielaczowych sterowanych zaworem elektromagnetycznym elektronicznie sterowany wysokociśnieniowy zawór elektromagnetyczny spełnia rolę suwaka regulacyjnego. Sygnały sterujące i regulacyjne są przetwarzane w dwóch sterownikach elektronicznych (sterownik pompy i sterownik silnika). Prędkość obrotowa silnika jest regulowana odpowiednim ustawieniem nastawnika.

Promieniowa rozdzielaczowa pompa wtryskowa

Paliwo do promieniowej rozdzielaczowej pompy wtryskowej tłoczy łopatkowa pompa zasilająca. Tłoczkowa pompa promieniowa z pierścieniem krzywkowym oraz (dwa do czterech) tłoczki promieniowe wytwarzają wysokie ciśnienie paliwa i tłoczą je do cylindrów. Wysokociśnieniowy zawór elektromagnetyczny umożliwia regulację dawki paliwa.

Początek tłoczenia jest ustawiany za pomocą obrotowego pierścienia krzywkowego z przestawiaczem wtrysku. W pompach osiowych sterowanych zaworem elektro-

gnetycznym sygnały sterujące i regulacyjne przetwarzają dwa sterowniki elektroniczne (sterownik pompy i sterownik silnika). Prędkość obrotowa jest regulowana odpowiednim ustawieniem nastawnika.

Układy indywidualnych zespołów wtryskowych

Układy indywidualnych zespołów wtryskowych PF

Indywidualne zespoły wtryskowe PF (stosowane w małych silnikach, lokomotywach spalinowych, silnikach statków i maszynach budowlanych), chociaż nie mają własnego wałka krzywkowego (F - napęd obcy). Podstawowa zasada ich działania jest taka sama jak rzędowych pomp wtryskowych PE. W silnikach dużej mocy regulator mechaniczno-hydrauliczny (lub elektroniczny) znajduje się bezpośrednio na kadłubie silnika. Wielkość dawki ustalona przez regulator jest realizowana za pomocą układu ciągnowego. Krzywki napędowe poszczególnych zespołów wtryskowych PF znajdują się na wale rozrządu, wskutek czego nie jest możliwe przestawianie wtrysku przez obrót wałka krzywkowego. Zmianę kąta o kilka stopni można uzyskać dzięki przestawianiu członu pośredniego (np. wahliwej dźwigni między wałem rozrządu i popychaczem rolkowym).

Pompy tego rodzaju są przystosowane również do wtrysku lepkich olejów ciężkich.

Układy UIS (Unit Injector System)

W układach z zespołami UI, zwanymi pompowtryskiwaczami, pompa wtryskowa oraz wtryskiwacz tworzą zwartą całość. Każdy cylinder silnika ma własny pompowtryskiwacz zamocowany na głowicy i napędzany bezpośrednio przez Popychacz albo pośrednio dźwignią od wału rozrządu. Ze względu na brak przewodów wtryskowych jest możliwe znacznie wyższe ciśnienie wtrysku (do 205 MPa) niż w pompach

rzędowych i rozdzielaczowych. Dzięki wysokiemu ciśnieniu wtrysku oraz elektronicznej regulacji charakterystyki początku i czasu wtrysku (względnie dawki) jest możliwa znaczna redukcja szkodliwych składników spalin silnika wysokoprężnego. Elektroniczna regulacja umożliwia realizację różnych funkcji dodatkowych.

Układy UPS (Unit Pump System)

Układy z zespołami UP (pompa-przewód-wtryskiwacz - PLD) pracują według tej samej zasady co układy z pompowtryskiwaczami (układy UIS). Stanowią one modułowy wysokociśnieniowy układ wtryskowy. W przeciwieństwie do pompowtryskiwacza wtryskiwacz i pompa w zespole UP są połączone krótkim przewodem wtryskowym. W układzie wtryskowym zespoły UP (pompa, przewód i wtryskiwacz), oddzielne dla każdego cylindra silnika, są napędzane indywidualnie od wału rozrządu, zaś krótki, odpowiednio dobrany przewód wysokiego ciśnienia łączy jednostkę z wtryskiwaczem. Elektroniczna regulacja początku wtrysku i czasu trwania wtrysku (względnie dawki) umożliwia znaczne zmniejszenie emisji spalin silnika, zaś elektronicznie sterowany zawór elektromagnetyczny szybkiego działania może dokładnie odwzorować charakterystyki pojedynczego procesu wtrysku.

Zasobnikowe układy wtryskowe

Układ Common Rail (CR)

W układzie CR procesy wytwarzania ciśnienia i wtrysku są rozdzielone. Ciśnienie wtrysku, wytwarzane niezależnie od prędkości obrotowej silnika i dawki paliwa, jest utrzymywane w zasobniku paliwa (zwanym także kolektorem lub szyną). Chwilę wtrysku i dawkę oblicza sterownik elektroniczny, który przekazuje stosowne impulsy sterujące do zaworu elektromagnetycznego wtryskiwacza każdego cylindra silnika.

Zasobnikowy układ wtryskowy Common Rail

Przegląd układu

Zastosowanie

Wprowadzeniem pierwszych wytwarzanych seryjnie rządowych pomp wtryskowych w 1927 roku w firmie Bosch rozpoczęto produkcję układów wtryskowych do silników wysokoprężnych. Rządowe pompy wtryskowe obecnie są szeroko stosowane, od silników pojazdów użytkowych, przez silniki stacjonarne aż do lokomotyw i jednostek pływających, przy ciśnieniach wtrysku do około 135 MPa i mocach do około 160 kW z cylindra. Zastosowanie silników o wtrysku bezpośrednim w małych pojazdach dostawczych i samochodach osobowych doprowadziło do skonstruowania innych układów wtryskowych, umożliwiających zwiększenie mocy jednostkowej oraz zmniejszenie zużycia paliwa, emisji hałasu i toksyczności spalin.

Zasobnikowy układ wtryskowy Bosch Common Rail, przeznaczony do silników o wtrysku bezpośrednim, umożliwia znacznie większą elastyczność dostosowania układu wtryskowego do silnika w porównaniu z konwencjonalnymi układami z napędem krzywkowym i ma następujące zalety:

- szerszy zakres zastosowania (dla samochodów osobowych i lekkich samochodów użytkowych o mocach do 30 kW/cyl., dla ciężkich samochodów użytkowych oraz lokomotyw i jednostek pływających o mocach do około 200 kW/cyl.,
- wyższe ciśnienie wtrysku (do około 140 MPa),
- zmienny początek wtrysku,
- możliwość wtrysku wstępnego, zasadniczego i dotrysku,
- ciśnienie wtrysku dostosowane do warunków pracy silnika.

Funkcje

W układzie wtryskowym Common Rail ciśnienie wtrysku jest wytwarzane niezależnie od prędkości obrotowej silnika i dawki wtrysku paliwa. W zasobniku paliwa (zwanym też szyną lub kolektorem) znajduje się paliwo pod wysokim ciśnieniem gotowe do wtrysku. Dawka wtrysku jest regulowana przez kierującego pojazdem, chwila i ciśnienie wtrysku są obliczane w sterowniku elektronicznym na podstawie zapisanych w jego pamięci charakterystyk uniwersalnych i realizowane za pośrednictwem sterowanego zaworu elektromagnetycznego przez wtryskiwacz oddzielnie dla każdego cylindra silnika.

Obwód sterowania układu wtryskowego Common Rail zawiera:

- sterownik,
- czujnik prędkości obrotowej wału korbowego,
- czujnik prędkości obrotowej wału rozrządu,
- czujnik pedału przyspieszenia,
- czujnik ciśnienia doładowania,
- czujnik ciśnienia w zasobniku paliwa,
- czujnik temperatury cieczy chłodzącej,
- przepływomierz powietrza.

Za pomocą czujników sterownik odbiera sygnał informujący o położeniu pedału przyspieszenia naciskanego przez kierującego pojazdem oraz aktualne warunki pracy silnika i stan ruchu pojazdu. Sterownik przetwarza sygnały czujników doprowadzane obwodami transmisji danych i na podstawie uzyskanych informacji steruje pracą silnika. Czujnik prędkości obrotowej wału korbowego mierzy prędkość obrotową silnika, a czujnik prędkości obrotowej wału rozrządu określa kolejność zapłonu. Potencjometryczny czujnik położenia pedału przyspieszenia przekazuje sterownikowi sygnał elektryczny odpowiadający wartości momentu obrotowego zadysponowanego przez kierowcę.

Przepływomierz powietrza przekazuje sterownikowi informację o aktualnej masie doprowadzanego powietrza w celu dostosowania spalania do wymaganego ograniczenia emisji spalin. W turbodoładowanych silnikach z regulacją ciśnienia doładowania odpowiedni czujnik mierzy ciśnienie doładowania. Na podstawie wartości dostarczanych przez czujniki temperatury cieczy chłodzącej i temperatury powietrza sterownik, przy niskich temperaturach i zimnym silniku, może dostosować wymagane wartości początku wtrysku, wtrysku wstępnego i innych parametrów do chwilowych warunków pracy. W zależności od pojazdu do sterownika mogą być podłączone dodatkowe czujniki i obwody danych, aby sprostać rosnącym wymaganiom dotyczącym bezpieczeństwa i komfortu jazdy. Na rysunku 1 przedstawiono elementy zasobnikowego układu wtryskowego Common Rail czterocyfrowego silnika wysokoprężnego.

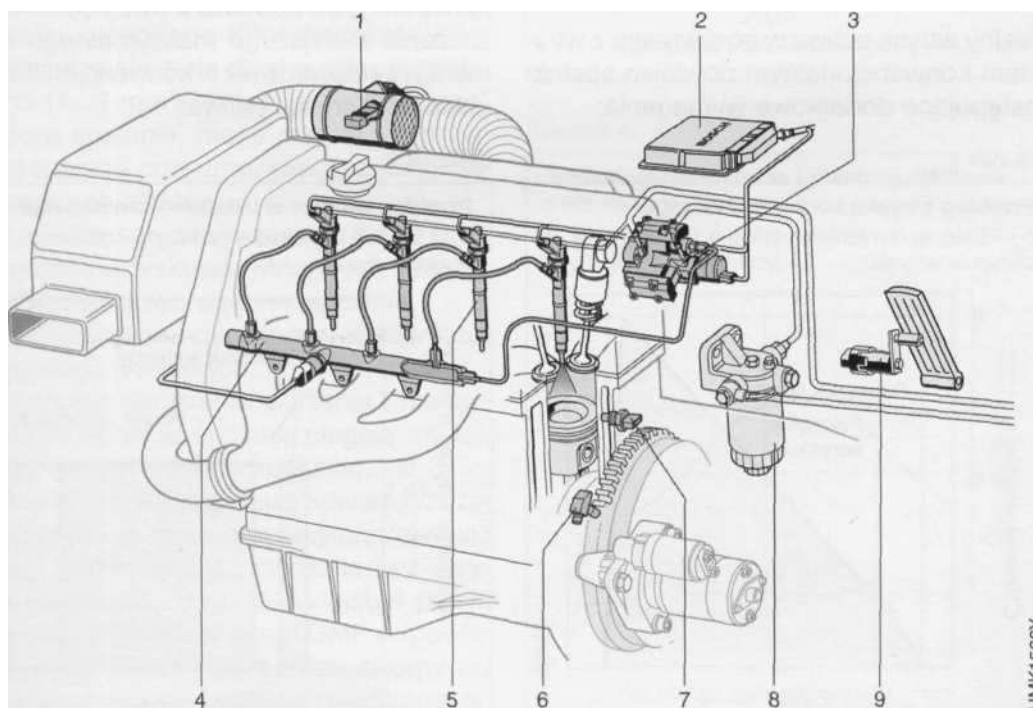
Funkcje podstawowe

Funkcje podstawowe układu CR obejmują sterowanie wtrysku paliwa, w tym właściwą chwilą wtrysku, dawką i ciśnieniem wtrysku.

Rysunek 1

Zasobnikowy układ wtryskowy Common Rail czterocyfrowego silnika wysokoprężnego

1 - masowy przepływomierz powietrza, 2 - sterownik, 3 - pompa wysokiego ciśnienia, 4 - zasobnik wysokiego ciśnienia, 5 - wtryskiwacze, 6 - czujnik prędkości obrotowej wału korbowego, 7 - czujnik temperatury cieczy chłodzącej, 8 - filtr paliwa, 9 - czujnik położenia pedału przyspieszenia



Zapewniają tym samym korzystną pod względem zużycia paliwa i równomierną pracę silnika wysokoprężnego.

Funkcje dodatkowe

Dodatkowe funkcje sterujące i regulacyjne służą redukcji emisji spalin i zużycia paliwa oraz zwiększają bezpieczeństwo i komfort jazdy. Przykładami są: recyrkulacja spalin, regulacja ciśnienia doładowania, regulacja prędkości jazdy, elektroniczna blokada silnika. Interfejs CAN umożliwia wymianę danych z innymi układami elektronicznymi pojazdu (np. ABS, elektroniczne sterowanie skrzynki biegów). Złącze diagnostyczne umożliwia obróbkę zapisanych w pamięci danych układu podczas przeglądu pojazdu.

Wtrysk paliwa

Konwencjonalny wtrysk paliwa

W konwencjonalnych układach wtrysku paliwa z pompami wtryskowymi rozdzielaczowymi i rzędownymi występuje wyłącznie

wtrysk główny, bez wtrysku wstępnego (pilotującego) i dotrysku (rys. 1). W niektórych rodzajach rozdzielaczowych pomp wtryskowych w przyszłości będzie możliwy również wtrysk wstępny. W układach konwencjonalnych wytwarzanie ciśnienia oraz przygotowanie dawki wtrysku za pomocą krzywki i tłoczka są sprzężone. Pociąga to za sobą następujące konsekwencje dla wtrysku paliwa:

- ciśnienie wtrysku wzrasta wraz ze zwiększeniem prędkości obrotowej i dawki paliwa,
- podczas wtrysku wzrasta ciśnienie wtrysku, które maleje przy zakończeniu wtrysku do wielkości ciśnienia otwarcia wtryskiwacza.

Następstwami tego są:

- wtrysk z mniejszym ciśnieniem małych dawek paliwa,
- ciśnienie szczytowe mniejsze niż podwójna wartość średniego ciśnienia wtrysku,
- w przybliżeniu trójkątny kształt przebiegu wtrysku, wymagany do korzystnego spalania.

Ciśnienie szczytowe decyduje o obciążeniu części składowych pompy wtryskowej oraz jej napędu. W konwencjonalnych układach wtryskowych jest ono miarą jakości tworzenia mieszanki w komorze spalania.

Wtrysk paliwa Common Rail

Idealny wtrysk paliwa w porównaniu z wtryskiem konwencjonalnym powinien spełnić następujące dodatkowe wymagania:

- ciśnienie i dawka wtrysku powinny być ustalone niezależnie dla każdego punktu pracy silnika (dodatkový stopień swobody w celu tworzenia mieszanki),
- na początku wtrysku dawka powinna być jak najmniejsza (podczas zwłoki zapłonu między początkiem wtrysku i początkiem spalania).

Wymaganiom tym odpowiada zasobnikowy układ wtryskowy Common Rail o wtrysku wstępnym i zasadniczym (rys. 2 i 4). Układ Common Rail jest zbudowany modułowo. Za wtrysk paliwa odpowiadają przede wszystkim następujące części składowe:

- sterowane elektromagnetycznie wtryskiwacze zamontowane w głowicy silnika,
- zasobnik paliwa wysokiego ciśnienia,
- pompa wysokiego ciśnienia.

Do pracy układu ponadto są niezbędne następujące elementy:

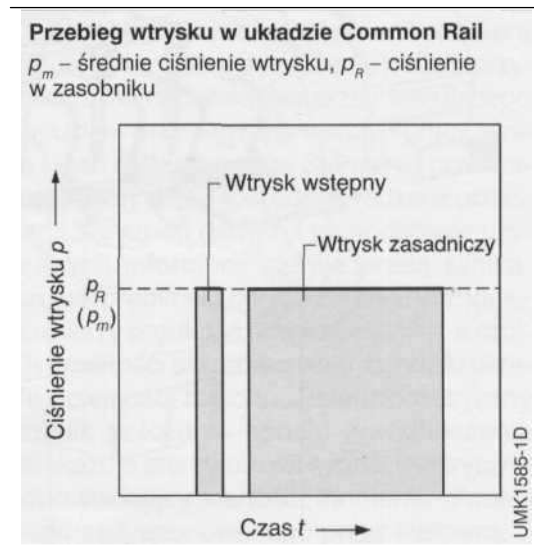
- sterownik elektroniczny,
- czujnik prędkości obrotowej wału korbowego,
- czujnik prędkości obrotowej wału rozrządu (czujnik faz).

Do wytwarzania ciśnienia w układach samochodów osobowych służy tłoczkowa pompa promieniowa. Wałek pompy wysokociśnieniowej jest sprzężony stałym przełożeniem z wałem korbowym silnika. Z uwagi na równomierne (w przybliżeniu) tłoczenie pompa wysokociśnieniowa może być konstrukcyjnie dobrana z uwzględnieniem znacznie mniejszego maksymalnego momentu obrotowego niż w konwencjonalnych układach wtrysku paliwa.

Rysunek 1



Rysunek 2



Każdy wtryskiwacz, połączony krótkim przewodem z zasobnikiem (kolektorem) paliwa, zawiera rozpylacz i zawór elektromagnetyczny. Sterownik zasilając prądem zawór elektromagnetyczny wtryskiwacza uruchamia rozpylacz (początek wtrysku). Po wyłączeniu zasilania elektrycznego wtrysk zostaje zakończony. Wtrysnięta dawka paliwa jest proporcjonalna, przy danym ciśnieniu, do czasu włączenia zaworu elektromagnetycznego, ale jest niezależna od prędkości obrotowej silnika lub pompy wtryskowej (sterowanie czasem wtrysku). Wymagane krótkie czasy włączeń można uzyskać odpowiednio dobierając sterowanie zaworów elektromagnetycznych przez sterownik wysokimi wartościami napięć i prądów.

Chwila wtrysku jest sterowana układem kątowo-czasowym sterowania elektronicznego EDC. W tym celu stosuje się dwa czujniki prędkości obrotowej, a mianowicie na wale korbowym oraz na wale rozrządu do rozpoznawania cylindrów i faz.

Wtrysk wstępny

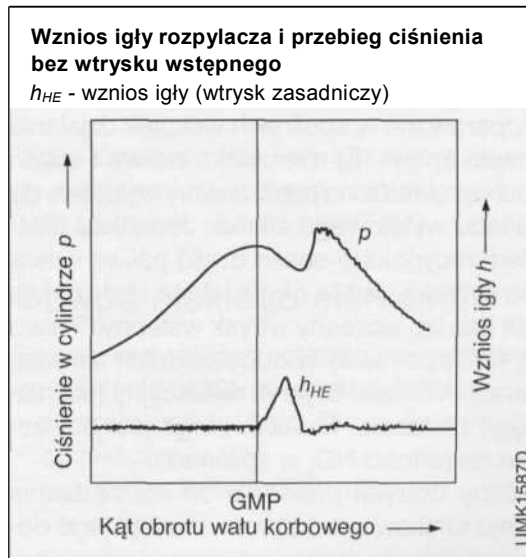
Wtrysk wstępny może wyprzedzać GMP do 90° obrotu wału korbowego (OWK). Początek wtrysku z wyprzedzeniem większym niż 40° OWK przed GMP może być powodem osadzania paliwa na ściankach cylindrów silnika, a tym samym niedopuszczalnego rozrzedzenia oleju smarowego. Podczas wtrysku wstępnego do cylindrów silnika wprowadza się małą dawkę oleju napędowego (1...4 mm³), która „przygotowując” komorę spalania, może poprawić sprawność spalania oraz umożliwić uzyskanie następujących efektów:

- ciśnienie sprężania zostaje nieco podwyższone wskutek wstępnych reakcji, albo częściowo wskutek spalania,
- zwłoka zapłonu dla wtrysku zasadniczego ulega skróceniu,
- szybkość narastania ciśnienia i maksymalne ciśnienie spalania ulegają zmniejszeniu (tzw. miękkie spalanie).

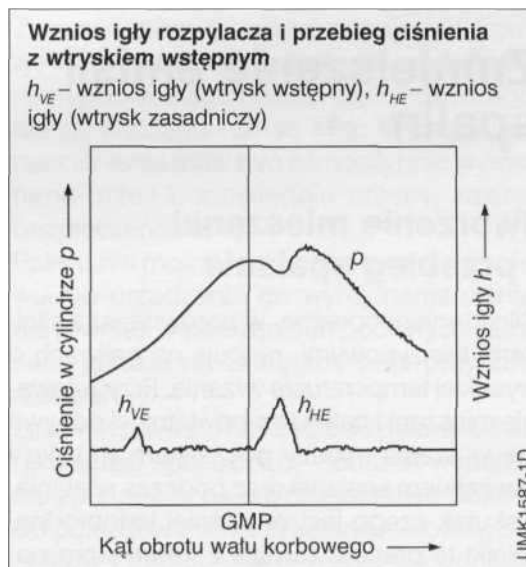
Efekty te zmniejszają hałas spalania, zużycie paliwa i w wielu przypadkach również emisję spalin. Wykres ciśnienia bez wtrysku wstępnego (rys. 3) wykazuje płaski przebieg w obszarze przed GMP odpowiadający sprężaniu, ale bardzo stromy od początku spalania, ponadto maksimum ci-

śnienia ma względnie ostry wierzchołek. Strome narastanie ciśnienia oraz ostry wierzchołek znacznie przyczyniają się do wzrostu poziomu hałasu spalania. Przebieg ciśnienia przy wtrysku wstępnym (rys. 4) wykazuje, że ciśnienie przed GMP uzyskuje nieco większą wartość, a narastanie ciśnienia spalania przebiega mniej stromo. Wtrysk wstępny przyczynia się tylko pośrednio, poprzez skrócenie zwłoki zapłonu, do wzrostu momentu obrotowego silnika. W zależności od początku wtrysku zasadniczego oraz odstępu czasu między wtryskiem wstępnym i zasadniczym jednostkowe zużycie paliwa może się zmniejszyć lub zwiększyć.

Rysunek 3



Rysunek 4



Wtrysk zasadniczy

Wtrysk zasadniczy dostarcza energii do pracy użytecznej oddawanej przez silnik. Stąd jest on w znacznym stopniu odpowiedzialny za rozwijanie momentu obrotowego przez silnik. W układzie wtryskowym Common Rail ciśnienie wtrysku pozostaje w przybliżeniu stałe podczas całego procesu wtrysku.

Dotrysk

Dotrysk może być zastosowany w celu dozowania czynnika redukcyjnego (domieszka paliwa) dla określonego wariantu katalizatora NO_x . Następuje on po wtrysku zasadniczym podczas suwu rozprężania i suwu wylotu do 200° OWK po GMP. Wprowadza on do spalin dokładnie dawkowaną ilość paliwa.

W przeciwieństwie do wtrysku wstępnego i zasadniczego paliwo nie jest spalane, lecz odparowane w spalinach wskutek działania ciepła spalin. Ta mieszanka paliwa i spalin jest wprowadzana przez zawory wylotowe do układu wylotowego silnika. Jednakże układem recyrkulacji spalin część paliwa wraca do cylindra, jest w nim spalana i oddziałuje jak bardzo wczesny wtrysk wstępny. Paliwo w spalinach służy w odpowiednich katalizatorach NO_x jako czynnik redukcyjny (utleniający) dla azotu. Skutkiem tego jest obniżenie zawartości NO_x w spalinach. Późny dotrysk prowadzi do rozrzedzenia oleju silnikowego paliwem, dlatego jego dopuszczalność powinien sprawdzić producent silnika.

Zmniejszenie emisji spalin

Tworzenie mieszanki i przebieg spalania

Silniki wysokoprężne, w porównaniu z silnikami benzynowymi, pracują na paliwach o wysokiej temperaturze wrzenia. Przygotowanie mieszanki paliwowo-powietrznej odbywa się w czasie między początkiem wtrysku i początkiem spalania oraz podczas spalania, wskutek czego jest ona mniej jednorodna. Silniki te pracują zawsze z nadmiarem po-

wietrza ($\lambda > 1$). Przy zbyt małym współczynniku nadmiaru powietrza zwiększa się emisja sadzy, CO i CH oraz zużycie paliwa. Tworzenie mieszanki determinują następujące parametry:

- ciśnienie wtrysku,
- dozowanie paliwa (czas trwania wtrysku),
- rozdział strumienia (liczba strumieni, przebieg strumienia, kierunek strumienia),
- początek wtrysku,
- ruch powietrza,
- masa powietrza.

Wszystkie te wielkości mają wpływ na emisję i zużycie paliwa przez silnik. Wysoka temperatura spalania i wysokie stężenie tlenu sprzyjają tworzeniu się NO_x . Natomiast niedobór powietrza i złe przygotowanie mieszanki powodują wydzielanie sadzy.

Cechy konstrukcyjne silnika

Ukształtowanie komory spalania oraz sposób doprowadzenia powietrza mogą mieć pozytywny wpływ na emisję spalin. Ruch powietrza w komorze spalania, starannie dostosowany do strumienia paliwa z wtryskiwacza polepsza wymieszanie paliwa i powietrza, a tym samym jest korzystny dla pełnego spalania paliwa. Ponadto korzystny wpływ na spalanie mają jednorodna mieszanka paliwowo-powietrzna oraz recyrkulacja spalin z ich chłodzeniem. Zastosowanie głowic wielozaworowych i turbosprężarki o zmiennej geometrii łopatek turbiny również sprzyja małym wartościom emisji i dużej mocy silnika.

Recyrkulacja spalin

Z punktu widzenia przepisów prawnych dotyczących spalin silników wysokoprężnych emisja NO_x jest zbyt duża, natomiast emisja sadzy znajduje się poniżej wartości granicznej. Recyrkulacja spalin umożliwia zmniejszenie emisji NO_x bez drastycznego zwiększania emisji sadzy. Układ wtryskowy Common Rail stwarza szczególnie korzystne warunki ze względu na dobre przygotowanie mieszanki dzięki wysokiemu ciśnieniu wtrysku. W czasie pracy przy obciążeniach częściowych układ recyrkulacji spalin kieruje część spalin do układu dolotowego. Powoduje to zmniejszenie zawartości tlenu, prędkości spalania, maksymal-

nej temperatury frontu płomienia, a tym samym zmniejszenie emisji NO_x . Jeśli jednak stopień recyrkulacji spalin jest zbyt duży (udział ponad 40%), to wskutek niedoboru tlenu wzrasta emisja sadzy, CO i CH oraz zwiększa się zużycie paliwa.

Wpływ wtrysku paliwa

Na zużycie paliwa i toksyczność spalin mają również wpływ: początek wtrysku, przebieg wtrysku i jakość rozpylenia paliwa.

Początek wtrysku

Późny wtrysk zmniejsza emisję NO_x z powodu niższych temperatur procesu. Zbyt późny wtrysk podwyższa emisję CH i zużycie paliwa, a przy wyższych obciążeniach zwiększa również wydzielanie sadzy. Odchyłka początku wtrysku tylko o 1°OWK od wielkości nominalnej może zwiększyć emisję NO_x o 5%. Za wczesny o 2°OWK początek wtrysku może prowadzić do zwiększenia ciśnienia maksymalnego w cylindrze o 1 MPa; opóźnienie o 2°OWK podwyższa temperaturę spalin o 20°C . Ta wysoka wrażliwość powoduje konieczność dokładnej regulacji początku wtrysku.

Przebieg wtrysku

Pod pojęciem przebiegu wtrysku należy rozumieć strumień masy paliwa zmieniający się w czasie trwania cyklu wtryskiwania paliwa (od początku wtrysku do końca wtrysku). Przebieg wtrysku określa masę paliwa tłoczoną podczas zwłoki zapłonu (między początkiem wtrysku a początkiem spalania). Ponadto ma on również wpływ na rozdział paliwa w komorze spalania, a tym samym na wykorzystanie powietrza. Wtrysk powinien mieć przebieg rosnący wolno, tym samym podczas zwłoki zapłonu będzie wtryskiwane niewiele paliwa. Na początku spalania paliwo spala się intensywniej, co nie jest korzystne dla emisji NO_x i hałasu. W fazie końcowej przebieg wtrysku musi mieć charakter szybko zanikający, ponieważ źle rozpylone paliwo w tej fazie powoduje zwiększoną emisję CH i sadzy oraz większe zużycie paliwa.

Rozpylenie paliwa

Drobno rozpylone paliwo polepsza wymieszanie paliwa z powietrzem. Przyczynia się

też do zmniejszenia emisji CH i sadzy. Wysokie ciśnienie wtrysku oraz optymalnie dobrana geometria otworów wtryskowych umożliwiają dokładniejsze rozpylenie paliwa. Aby silnik nie emitował czarnego dymu wskutek wydzielania sadzy, dawka paliwa musi być ograniczona odpowiednio do ilości zassanego powietrza. Wymaga to co najmniej 10...40% nadmiaru powietrza ($\lambda = 1,1 \dots 1,4$).

Po zamknięciu igły rozpylacza paliwo może odparować z otworów wtryskowych (w rozpylaczach ze studzienką - również z objętości studzienki) zwiększając przy tym emisję CH. Dlatego te objętości szkodliwe powinny być jak najmniejsze.

Układ zasilania paliwem

Układ Common Rail (rys. 1) zawiera obwody niskiego i wysokiego ciśnienia paliwa oraz sterownik elektroniczny (11).

Obwód niskiego ciśnienia

Podstawowymi elementami obwodu niskiego ciśnienia układu Common Rail są:

- zbiornik paliwa (1) z filtrem wstępnego oczyszczania (2),
- pompa zasilająca (3),
- filtr paliwa (4),
- przewody paliwa niskiego ciśnienia (5).

Zbiornik paliwa

Zbiornik paliwa musi być odporny na korozję oraz zachować szczelność pod działaniem podwójnego nadciśnienia roboczego, nie mniejszego niż 30 kPa. Występujące nadciśnienie musi być samoczynnie wyrównane przez odpowiednie otwory, zawory bezpieczeństwa itp.

Paliwo nie może wypływać przez otwór wlewu lub urządzenia do wyrównania ciśnienia również w położeniach pochyłych zbiornika, jeździe na zakrętach oraz przy zdezereniach.

Zbiornik paliwa musi być oddzielony od silnika w taki sposób, aby podczas wypadku nie zachodziło niebezpieczeństwo pożaru. Do pojazdów z otwartą kabiną kierowcy, ciągników i autobusów odnoszą się ponadto

dodatkowe przepisy dotyczące wysokości montażowej oraz osłon zbiornika paliwa.

Przewody paliwa niskiego ciśnienia

W obwodzie paliwa niskiego ciśnienia, oprócz rurek stalowych, można stosować także przewody elastyczne w oplocie stalowym, trudnopalne. Muszą one być tak ułożone, aby nie ulegały uszkodzeniom mechanicznym, a skroplone lub odparowane paliwo nie mogło się gromadzić ani ulec zapłonowi.

Przepływ paliwa w przewodach nie może być zakłócony wskutek ruchu pojazdu, pracy silnika itp.

Wszystkie części, przez które przepływa paliwo, muszą być chronione przed wpływem ciepła. W autobusach przewody paliwa nie mogą być prowadzone w przestrzeni pasażerskiej, a paliwo nie może być tłoczone pod wpływem siły ciężkości.

Niskociśnieniowe elementy układu

Pompa zasilająca

Pompa zasilająca jest elektryczną pompą paliwa z filtrem wstępnego oczyszczania lub pompą zębatą, która zasysa paliwo ze zbiornika i tłoczy je stale, w wymaganej ilości, do pompy wysokiego ciśnienia.

Filtr paliwa

Niedostateczne filtrowanie może prowadzić do uszkodzenia elementów pompy, zaworów ciśnieniowych i wtryskiwaczy. Filtr paliwa oczyszcza paliwo przed dopływem do pompy wysokiego ciśnienia zabezpieczając ją przed przedwczesnym zużyciem.

Obwód wysokiego ciśnienia

Obwód wysokiego ciśnienia układu zasilania Common Rail stanowią następujące elementy:

- pompa wysokiego ciśnienia (6) z zaworem regulacyjnym ciśnienia,
- przewody paliwa wysokiego ciśnienia (7),
- zasobnik paliwa wysokiego ciśnienia (8) z czujnikiem ciśnienia, zaworem redukcyjnym ciśnienia i ogranicznikiem przepływu,
- wtryskiwacze (9),
- przewody paliwa wysokiego ciśnienia (10).

Wysokociśnieniowe elementy układu

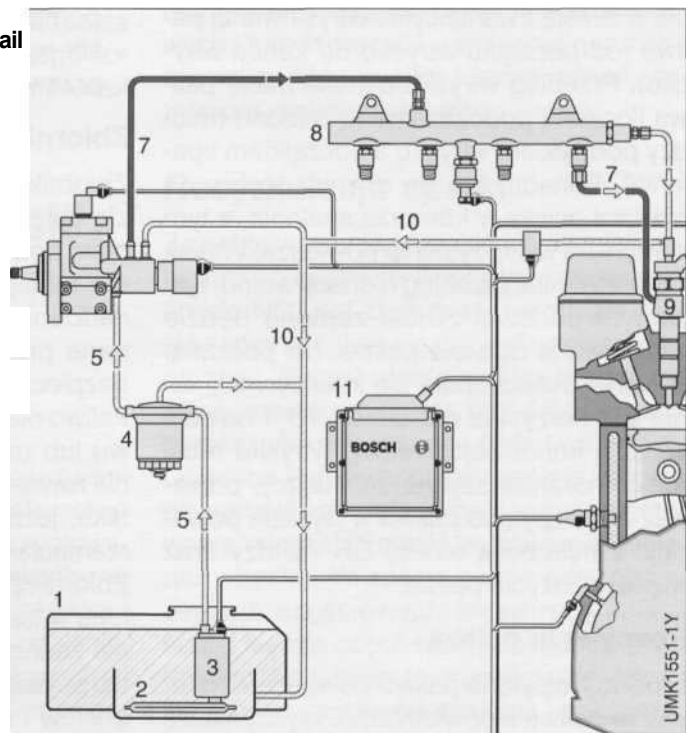
Pompa wysokiego ciśnienia

Pompa wysokiego ciśnienia spręża paliwo w układzie do ciśnienia 135 MPa. Sprężone paliwo jest tłoczone przewodem wysokiego ciśnienia do zasobnika.

Rysunek 1

Układ zasilania paliwem Common Rail

- 1 - zbiornik paliwa,
- 2 - filtr wstępnego oczyszczania paliwa,
- 3 - pompa zasilająca,
- 4 - filtr paliwa,
- 5 - przewody paliwa niskiego ciśnienia,
- 6 - pompa wysokiego ciśnienia,
- 7 - przewody paliwa wysokiego ciśnienia,
- 8 - zasobnik paliwa,
- 9 - wtryskiwacz,
- 10 - przewód przelewowy paliwa,
- 11 - sterownik elektroniczny



Zasobnik paliwa wysokiego ciśnienia

Ciśnienie paliwa wewnątrz zasobnika jest utrzymywane w przybliżeniu na stałym poziomie - również po przyjęciu dawki wtrysku, ponieważ umożliwia to sprężystość paliwa. Ciśnienie paliwa, kontrolowane za pomocą czujnika, jest regulowane zaworem regulacyjnym ciśnienia do żądanej wartości. Zawór redukcyjny ciśnienia ogranicza ciśnienie paliwa w zasobniku do 150 MPa. Paliwo pod wysokim ciśnieniem z zasobnika jest kierowane do wtryskiwaczy przez (opcjonalnie) ogranicznik przepływu zabezpieczający przed niedopuszczalnym przepływem paliwa w kierunku komory spalania silnika.

Wtryskiwacze

Rozpylacze otwierają się w chwili, gdy przepływ paliwa zostanie otwarty przez włączony zawór elektromagnetyczny i wtryskują paliwo bezpośrednio do komór spalania silnika. Nadmiar paliwa, niezbędny do otwarcia rozpylaczy, służy przewodem zbiorczym z powrotem do zbiornika paliwa. Przewód zbiorczy odprowadza również nadmiar paliwa z zaworu regulacyjnego ciśnienia i obwodu paliwa niskiego ciśnienia oraz pompy wysokiego ciśnienia.

Przewody paliwa wysokiego ciśnienia

Przewody paliwa wysokiego ciśnienia muszą wytrzymywać trwale maksymalne ciśnienie w układzie oraz wysokoczęstotliwościowe wahania ciśnienia występujące podczas przerw między wtryskami. Dlatego wykonuje się je z rurek stalowych zwykle o średnicy zewnętrznej 6 mm i średnicy wewnętrznej 2,4 mm.

Ponieważ przewody muszą mieć tę samą długość, różnice odległości między zasobnikiem paliwa i wtryskiwaczami wyrównuje się odpowiednio zaginając przewody prowadzące do poszczególnych cylindrów silnika przy zachowaniu jak najmniejszej ich długości.

Budowa i działanie elementów

Obwód niskiego ciśnienia

Zasadniczymi elementami obwodu niskiego ciśnienia (rys. 1) są:

- zbiornik paliwa (1),
- pompa zasilająca (3) z filtrem wstępnego oczyszczania (2),
- przewody paliwa niskiego ciśnienia (5,7),
- filtr paliwa (4),
- część niskociśnieniowa pompy wysokiego ciśnienia (6).

Pompa zasilająca

Zadaniem pompy zasilającej jest tłoczenie paliwa do pompy wysokiego ciśnienia:

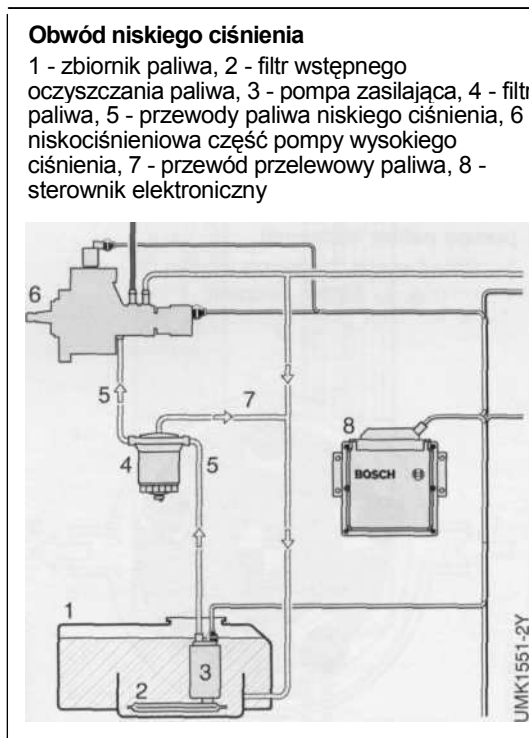
- w każdych warunkach pracy,
- przy wymaganym ciśnieniu,
- w czasie całego okresu trwałości.

Stosuje się dwa rodzaje pomp: elektryczną rolkową pompę wporową lub mechaniczną napędzaną pompą zębatą.

Elektryczna pompa paliwa

Elektryczna pompa paliwa (rys. 2 i 3) występuje tylko w samochodach osobowych i lekkich pojazdach użytkowych. Jej zadaniem, oprócz tłoczenia paliwa do pompy wysokiego ciśnienia, jest również przerwanie tłoczenia paliwa w razie potrzeby w ramach nadzoru pracy układu. Począwszy od chwili rozruchu silnika elektryczna pompa paliwa pracuje stale i niezależnie od prędkości obrotowej silnika. Tym samym tłoczy ona paliwo w sposób ciągły

Rysunek 1



ze zbiornika paliwa do pompy wysokiego ciśnienia. Nadmiar paliwa odpływa z powrotem do zbiornika paliwa przez zawór przelewowy.

Obwód bezpieczeństwa uniemożliwia tłoczenie paliwa przy włączonym zapłonie i zatrzymanym silniku. Elektryczne pompy paliwa mogą być przeznaczone do zabudowy na przewodzie paliwa lub w zbiorniku paliwa. Pompy do zabudowy na przewodzie są umieszczone poza zbiornikiem paliwa, między zbiornikiem i filtrem paliwa, w dolnej części pojaz-

du. Pompy do zabudowy w zbiorniku umieszcza się wewnątrz zbiornika paliwa na specjalnym wsporniku, zwykle razem z siatkowym filtrem paliwa po stronie ssącej, czujnikiem poziomu paliwa, wirowym zbiornikiem służącym jako rezerwuuar paliwa oraz złączami elektrycznymi i hydraulicznymi. Elektryczna pompa paliwa składa się z trzech członów funkcjonalnych:

- sekcji tłoczącej (A),
- silnika elektrycznego (B),
- pokrywy (C).

Sekcja tłocząca pompy może mieć różną budowę, ponieważ zależy od zastosowania pompy. W układzie Common Rail jest to pompa rolkowa (wyporowa), która składa się z umieszczonej mimośrodowo komory, w której obraca się tarcza rolkowa. W każdym rowku tarczy znajduje się swobodnie prowadzona rolka. Wskutek ruchu obrotowego tarczy oraz działania ciśnienia paliwa rolki są dociskane do zewnętrznej bieżni i ścianek rowków. Rolki stanowią także uszczelnienia obrotowe, przy czym między dwoma rolkami tarczy i bieżnią tworzy się komora. Działanie pompujące polega na zmniejszaniu się objętości komór w czasie obrotu tarczy po przysłonięciu nerkowego otworu wlotowego.

Po odstąpieniu otworu wylotowego paliwo, opływając silnik elektryczny, wypływa z pompy rolkowej przez pokrywę pompy po stronie tłoczącej.

Silnik elektryczny składa się z układu magnesów trwałych oraz twornika, którego konstrukcja zależy od wymaganego wydatku tłoczenia przy danym ciśnieniu w układzie. Silnik elektryczny i sekcja tłocząca znajdują się we wspólnej obudowie i są stale opływane przez paliwo, które jednocześnie je chłodzi. Umożliwia to uzyskanie wysokiej mocy silnika bez stosowania złożonych elementów uszczelniających między sekcją tłoczącą i silnikiem elektrycznym.

Pokrywa ma złącza elektryczne oraz złącze hydrauliczne po stronie tłoczącej pompy. Dodatkowo może mieć wbudowane elementy przeciwwzrosteniowe.

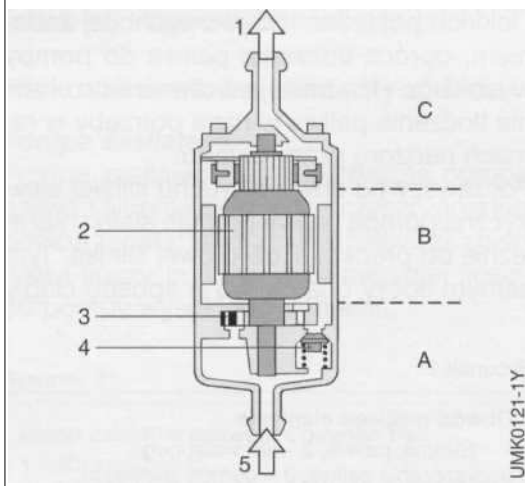
Zębata pompa paliwa

Zębatą pompę zasilającą stosuje się w samochodach osobowych, pojazdach użytkowych i samochodach terenowych. Jest ona

Rysunek 2

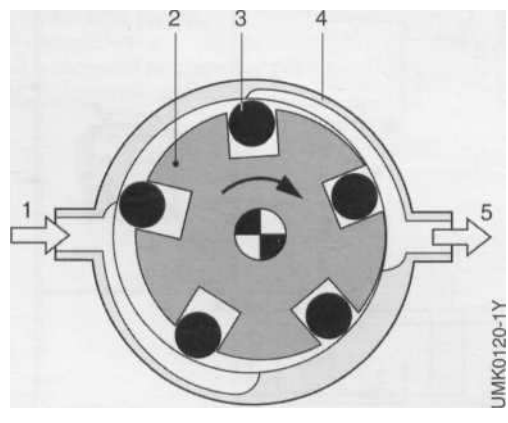
Elektryczna pompa paliwa (schemat)

A - sekcja tłocząca pompy, B - silnik elektryczny, C - pokrywa
1 - wylot pompy, 2 - twornik silnika elektrycznego, 3 - rolkowa pompa wyporowa, 4 - ogranicznik ciśnienia, 5 - wlot pompy



Rysunek 3

Rolkowa pompa wyporowa elektrycznej pompy paliwa (schemat) 1 - strona ssąca, 2 - tarcza wimnika, 3 - rolka, 4 - korpus, 5 - strona tłocząca



wbudowana w pompę wysokiego ciśnienia i wspólnie z nią napędzana, albo mocowana bezpośrednio na silniku i napędzana oddzielnie.

Elementami napędu pompy są zwykle: sprzęgło, koło zębate lub pasek zębaty. Ważniejszymi częściami składowymi pompy są dwa wzajemnie zazębione i obracające się przeciwnie koła zębate, które przetłaczają paliwo we wręczach międzyzębnych ze strony ssącej na stronę tłoczącą (rys. 4). Linia przyporu kół zębatach stanowi uszczelnienie zabezpieczające przed powrotnym przepływem paliwa. Wydatek pompy w przybliżeniu jest proporcjonalny do prędkości obrotowej silnika. Regulacja wydatku polega na regulacji dławienia po stronie ssącej lub na zastosowaniu zaworu przelewowego po stronie tłoczącej. Zębata pompa paliwa jest bezobsługowa. W celu odpowietrzenia układu paliwowego przy pierwszym uruchomieniu lub po całkowitym opróżnieniu zbiornika paliwa pompa ręczna może być podłączona do zębataj pompy paliwa lub do przewodu paliwa niskiego ciśnienia.

Filtr paliwa

Zanieczyszczenia w paliwie mogą być przyczyną uszkodzeń elementów pompy, zaworów ciśnienia i rozpylaczy. Zastosowanie filtra paliwa, specjalnie dobranego do wymagań układu wtryskowego, jest zatem warunkiem bezawaryjnej pracy i dużej trwałości. Paliwo może zawierać wodę w postaci zwią-

zanej (emulsja) lub niezwiązanej (np. skropliny wody tworzące się wskutek zmian temperatury). Jeśli ta woda przedostanie się do układu wtryskowego, mogą wystąpić uszkodzenia wskutek korozji. Układ Common Rail wymaga zatem, podobnie jak inne układy wtryskowe, filtru paliwa z osadnikiem wody (rys. 5). Wodę należy okresowo usuwać z filtru. Zastosowanie silników wysokoprężnych w samochodach osobowych wiąże się z wprowadzeniem urządzenia automatycznego ostrzegania o obecności wody w filtrze paliwa. Urządzenie to wskazuje za pomocą lampki kontrolnej, kiedy należy opróżnić osadnik wody (obowiązkowe w krajach, w których paliwo zawiera dużo wody).

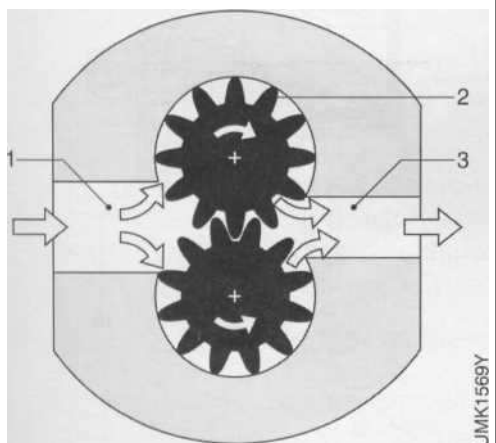
Obwód wysokiego ciśnienia

W obwodzie wysokiego ciśnienia (rys. 6), oprócz wytwarzania wysokiego ciśnienia, odbywa się też rozdział paliwa i jego dawkowanie.

Rysunek 4

Zębata pompa paliwa (schemat)

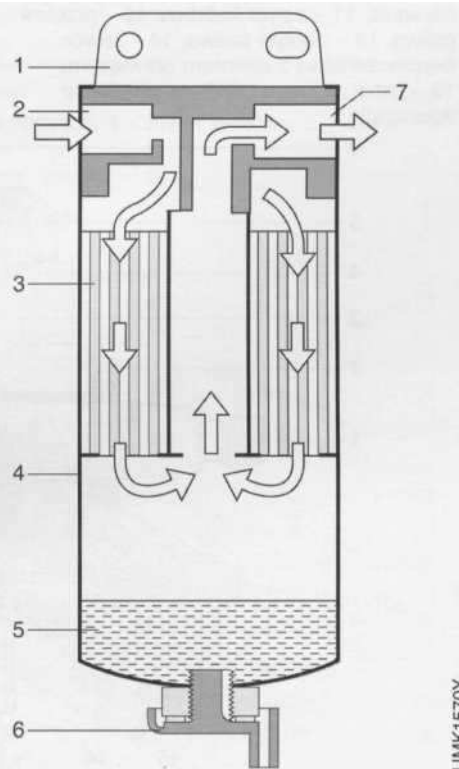
- 1 - strona ssąca, 2 - koło zębate napędowe, 3 - strona tłocząca



Rysunek 5

Filtr paliwa (schemat)

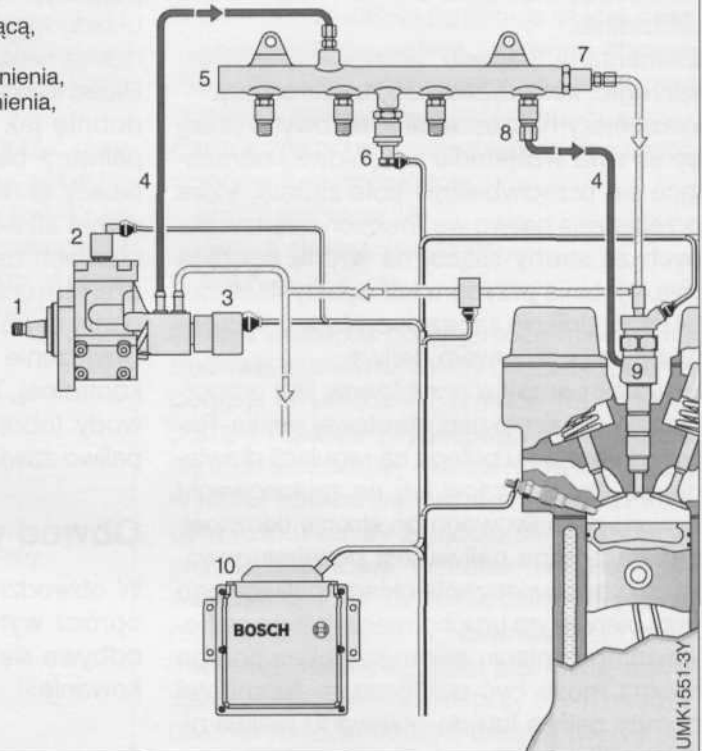
- 1 - pokrywa filtru, 2 - wlot paliwa, 3 - papierowy wkład filtru, 4 - korpus, 5 - osadnik wody, 6 - korek spustowy wody, 7 - wylot paliwa



Rysunek 6

Obwód wysokiego ciśnienia układu Common Rail

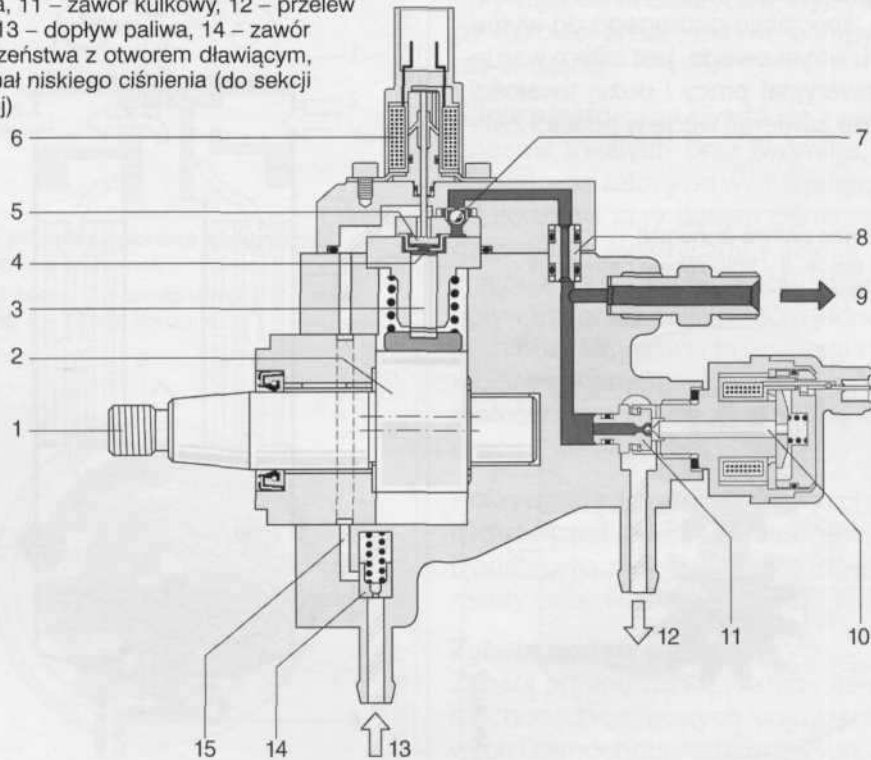
- 1 – pompa wysokiego ciśnienia,
- 2 – zawór wyłączający sekcję tłoczącą,
- 3 – zawór regulacyjny ciśnienia,
- 4 – przewody paliwa wysokiego ciśnienia,
- 5 – zasobnik paliwa wysokiego ciśnienia,
- 6 – czujnik ciśnienia zasobnika,
- 7 – zawór redukcyjny ciśnienia,
- 8 – ogranicznik przepływu,
- 9 – wtryskiwacz,
- 10 – sterownik



Rysunek 7

Pompa wysokiego ciśnienia (schemat, przekrój wzdłużny)

- 1 – wałek napędowy, 2 – krzywka mimośrodowa, 3 – sekcja tłocząca, 4 – przestrzeń tłocząca, 5 – zawór wlotowy, 6 – zawór wyłączający sekcji tłoczącej, 7 – zawór wylotowy, 8 – uszczelnienia, 9 – złącze wysokiego ciśnienia, 10 – zawór regulacyjny ciśnienia, 11 – zawór kulkowy, 12 – przelew paliwa, 13 – dopływ paliwa, 14 – zawór bezpieczeństwa z otworem dławiącym, 15 – kanał niskiego ciśnienia (do sekcji tłoczącej)



Ważniejszymi częściami składowymi układu są:

- pompa wysokiego ciśnienia (1) z zaworem wyłączającym sekcję tłoczącą (2) i za worem regulacyjnym ciśnienia (3),
- zasobnik paliwa wysokiego ciśnienia (5),
- czujnik ciśnienia (6) zasobnika,
- zawór redukcyjny ciśnienia (7),
- ogranicznik przepływu (8),
- wtryskiwacze (9).

Pompa wysokiego ciśnienia

Cel stosowania

Pompa wysokiego ciśnienia (rys. 7 i 8) wytwarza odpowiednio wysokie ciśnienie paliwa we wszystkich warunkach pracy i w całym okresie eksploatacji pojazdu, aby m.in. zapewnić rezerwę paliwa potrzebną do szybkiego uruchomienia oraz nagłego wzrostu ciśnienia w zasobniku. Dlatego paliwo nie jest „wysoko sprężane” specjalnie dla każdego pojedynczego procesu wtrysku tak jak w zwykłych układach wtryskowych.

Budowa

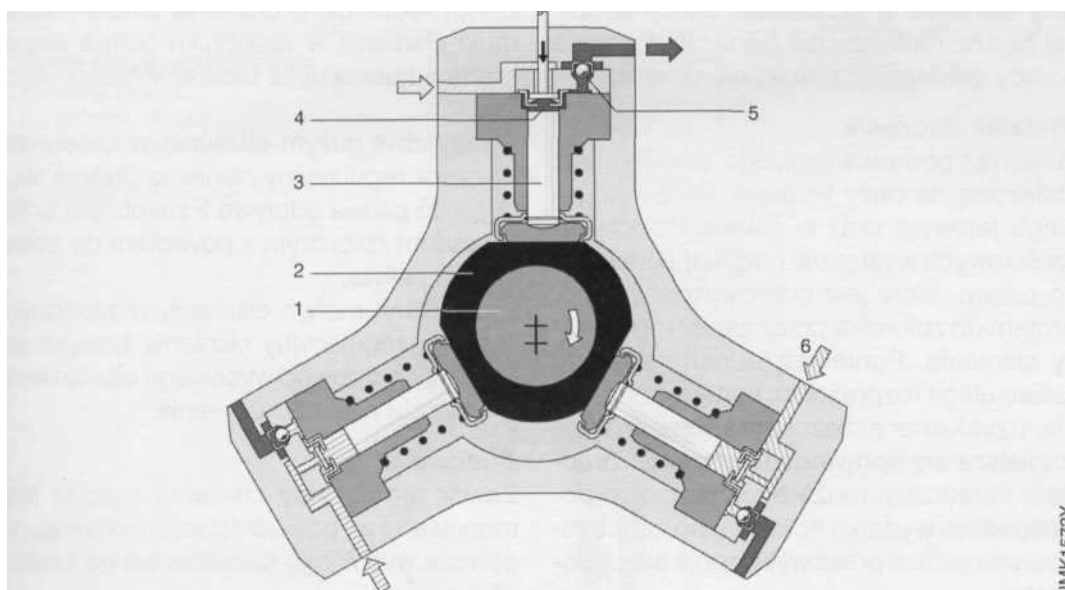
Pompa wysokiego ciśnienia jest mocowana przeważnie w tym samym miejscu na silniku wysokoprężnym, co konwencjonalna rozdzielaczowa pompa wtryskowa. Jest

ona napędzana od silnika za pośrednictwem sprzęgła, kół zębatych, łańcucha lub paska zębatego z prędkością do 3000 obr./min i smarowana paliwem. Zawór regulacyjny ciśnienia, w zależności od miejsca, jest wbudowany w pompę wysokiego ciśnienia lub występuje oddzielnie. Paliwo jest sprężane przez trzy tłoczki umieszczone promieniowo wewnątrz pompy i rozmieszczone co 120°. Trzy skoki tłoczenia na jeden obrót wymagają małego momentu obrotowego oraz stanowią równomierne obciążenie napędu pompy. Moment obrotowy 16 Nm stanowi zaledwie około 1/9 momentu niezbędnego do napędu porównywalnej rozdzielaczowej pompy wtryskowej. Dlatego układ Common Rail ma mniejsze wymagania co do napędu pompy niż konwencjonalne układy wtryskowe. Moc niezbędna do napędu pompy zwiększa się proporcjonalnie do ciśnienia ustalonego w zasobniku paliwa oraz do prędkości obrotowej pompy (wydatek tłoczenia). W silniku o pojemności 2 dm³ przy znamionowej prędkości obrotowej i ciśnieniu w zasobniku 135 MPa pompa wysokiego ciśnienia pobiera moc 3,8 kW (przy sprawności mechanicznej około 90%). Przyczynami większego zapotrzebowania mocy są dawki przecieku i sterowania we

Rysunek 8

Pompa wysokiego ciśnienia (schemat, przekrój poprzeczny)

1 - wałek napędowy, 2 - krzywka mimośrodowa, 3 - sekcja tłocząca, 4 - zawór wlotowy, 5 - zawór wylotowy, 6 - dopływ paliwa



JMK1573Y

wtryskiwaczach oraz przelew nadmiaru paliwa przez zawór regulacyjny ciśnienia.

Działanie

Pompa zasilająca tłoczy paliwo przez filtr z odstożnikiem wody do zaworu bezpieczeństwa (rys. 7) i przetłacza je przez otwór dławiący zaworu bezpieczeństwa (14) do obiegu smarowania i chłodzenia pompy wysokiego ciśnienia. Wałek napędowy (1) porusza trzy tłoczki pompy (3) w górę i w dół odpowiednio do kształtu krzywki.

Gdy ciśnienie tłoczenia przekroczy wartość ciśnienia otwarcia zaworu bezpieczeństwa (50...150 kPa), pompa zasilająca może tłaczyć paliwo przez zawór wylotowy pompy wysokiego ciśnienia do przestrzeni sekcji tłoczącej, przy czym tłoczki pompy porusza się w dół (skok ssania). Po przekroczeniu najniższego położenia tłoczka przestrzeń sekcji tłoczącej (4) zostaje zamknięta i paliwo nie może się w niej rozprężyć. Może być ono wówczas sprężone powyżej ciśnienia tłoczenia pompy zasilającej. Rosnące ciśnienie otwiera zawór wylotowy (7), a z chwilą osiągnięcia ciśnienia w zasobniku sprężone paliwo przedostaje się do obwodu wysokiego ciśnienia. Tłoczek sekcji tłoczącej przetłacza paliwo do chwili osiągnięcia swego najwyższego położenia (skok tłoczenia). Następnie ciśnienie spada i zawór wylotowy się zamyka. Pozostałe paliwo rozpręża się, tłoczek sekcji porusza się w dół. Gdy ciśnienie w przestrzeni sekcji tłoczącej będzie mniejsze niż ciśnienie tłoczenia pompy zasilającej, proces się powtórzy.

Wydatek tłoczenia

Ponieważ pompa wysokiego ciśnienia jest obliczona na duży wydatek tłoczenia, na biegu jałowym oraz w zakresie obciążeń częściowych występuje nadmiar sprężonego paliwa, który jest odprowadzany z powrotem do zbiornika przez zawór regulacyjny ciśnienia. Ponieważ jednak sprężone paliwo ulega rozprężeniu, tracona jest energia uzyskana przez sprężanie, a więc zmniejsza się sprawność całkowita. Środkiem zaradczym może być częściowo dostosowanie wydatku tłoczenia do zapotrzebowania paliwa przez wyłączenie sekcji tłoczącej.

Wyłączenie sekcji tłoczącej Wyłączenie sekcji tłoczącej, powodujące zmniejszenie ilości paliwa przetłaczanej do zasobnika wysokiego ciśnienia, odbywa się dzięki stałemu utrzymywaniu zaworu wlotowego (5) w położeniu otwartym. Po włączeniu zaworu elektromagnetycznego wyłączenia sekcji tłoczącej trzpień umieszczony na kotwicy tego zaworu elektromagnetycznego naciska stale na zawór wlotowy. Dzięki temu zasysane paliwo nie może być sprężone podczas skoku tłoczenia. Wskutek tego ciśnienie w przestrzeni sekcji nie wzrasta, ponieważ zasysane paliwo odpływa z powrotem do kanału niskiego ciśnienia. Pompa wysokiego ciśnienia, wskutek wyłączenia sekcji tłoczącej przy zmniejszonym zapotrzebowaniu wydatku paliwa, nie tłoczy paliwa w sposób ciągły, lecz z przerwami.

Przełożenie napędu pompy Wydatek tłoczenia pompy wysokiego ciśnienia jest proporcjonalny do jej prędkości obrotowej. Prędkość obrotowa pompy zależy od prędkości obrotowej silnika. Pompa ta w układzie wtryskowym silnika powinna mieć przełożenie napędu dobrane w ten sposób, aby tłoczona ilość paliwa nie była zbyt duża, lecz pokrywała zapotrzebowanie paliwa przy pełnym obciążeniu silnika. Możliwe przełożenia to 1:2 i 2:3 w stosunku do wału korbowego silnika.

Zawór regulacyjny ciśnienia

Cel stosowania

Zawór regulacyjny ciśnienia ustala i utrzymuje ciśnienie w zasobniku paliwa niezależnie od obciążenia silnika, w następujący sposób:

- przy zbyt dużym ciśnieniu w zasobniku zawór regulacyjny ciśnienia otwiera się i część paliwa odpływa z zasobnika przez wodek zbiorczy z powrotem do zbiornika paliwa,
- przy zbyt małym ciśnieniu w zasobniku zawór regulacyjny ciśnienia zamyka się odcinając obwód wysokiego ciśnienia od obwodu niskiego ciśnienia.

Budowa

Zawór regulacyjny ciśnienia (rys. 9) jest mocowany za pośrednictwem kołnierza na pompie wysokiego ciśnienia lub na zasobniku paliwa.

Kotwica zaworu dociska kulkę do gniazda powodując odcięcie obwodu wysokiego ciśnienia od obwodu niskiego ciśnienia (sprężyna naciska kotwicę w dół albo siła elektromagnesu działa na kotwicę). W celu smarowania i odprowadzenia ciepła cała kotwica jest omywana paliwem.

Działanie

Zawór regulacyjny ma dwa obwody regulacji:

- elektryczny obwód regulacji powolnego działania (w celu ustawienia zmiennej średniej wartości ciśnienia w zasobniku paliwa),
- mechaniczno-hydrauliczny obwód regulacji szybkiego działania (w celu wyrównania drgań ciśnienia o dużej częstotliwości).

Zawór regulacyjny ciśnienia w stanie wyłączonym

Paliwo pod wysokim ciśnieniem w zasobniku lub na wyjściu pompy wysokiego ciśnienia przedostaje się do zaworu regulacyjnego ciśnienia. Ponieważ elektromagnes bez napięcia nie wywiera żadnej siły, parcie wynikające z działania wysokiego ciśnienia jest większe od siły sprężyny, zawór regulacyjny ciśnienia otwiera się i pozostaje częściowo otwarty, w zależności od wydatku tłoczenia. Sprężyna jest konstrukcyjnie tak dobrana, że ustala ciśnienie na poziomie około 10 MPa.

Zawór regulacyjny ciśnienia w stanie włączonym

Jeżeli ciśnienie w obwodzie wysokiego ciśnienia powinno zostać podwyższone, siła sprężyny musi być dodatkowo wspomagana siłą magnetyczną. Zawór regulacyjny ciśnienia zostaje włączony i tym samym zamyka się aż do chwili, gdy między siłą wynikającą z wysokiego ciśnienia a siłami elektromagnesu i sprężyny zostanie osiągnięty stan równowagi.

Zawór pozostaje wtedy w stanie otwarcia i utrzymuje stałe ciśnienie. Zmienny wydatek tłoczenia pompy oraz pobór paliwa z obwodu wysokiego ciśnienia przez wtryskiwacze jest wyrównywany różnym stopniem otwarcia zaworu. Siła elektromagnesu jest proporcjonalna do prądu sterującego. Zmiana tego prądu jest realizowana przez taktowanie (modulację długości impulsu). Częstotliwość taktowania jest dostatecznie wysoka, aby uniknąć zakłócających ruchów kotwicy względnie wahań ciśnienia w zasobniku paliwa.

Zasobnik paliwa wysokiego ciśnienia

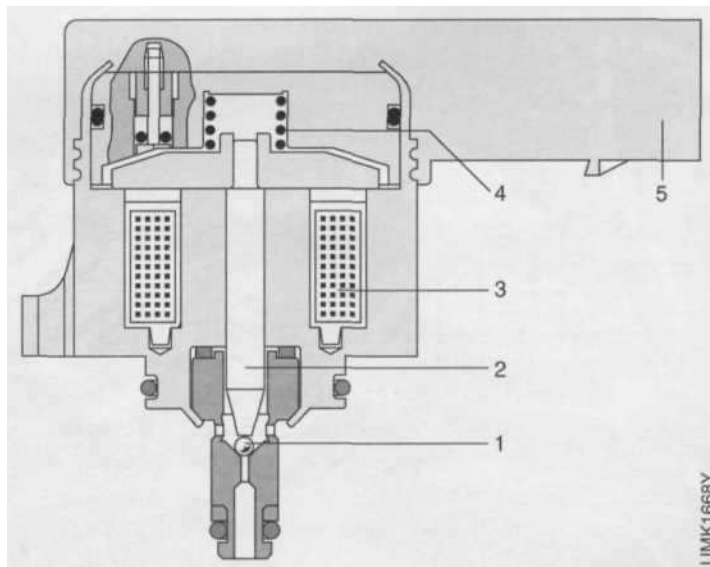
Cel stosowania

Zasobnik paliwa (rys. 10) gromadzi paliwo o wysokim ciśnieniu. Przy tym objętość zasobnika musi być tak dobrana, aby umożliwić tłumienie drgań ciśnienia powstających w wyniku tłoczenia pompy oraz procesu wtrysku. Ciśnienie we wspólnym

Rysunek 9

Zawór regulacyjny ciśnienia

- 1 - kulka zaworu,
- 2 - kotwica zaworu,
- 3 - elektromagnes,
- 4 - sprężyna,
- 5 - złącze elektryczne



**Common
Rail**

dla wszystkich cylindrów zasobnik paliwa jest utrzymywane w przybliżeniu na stałym poziomie nawet przy pobieraniu większych ilości paliwa. W ten sposób zapewnia się stałe ciśnienie wtrysku przy otwarciu wtryskiwacza.

Budowa

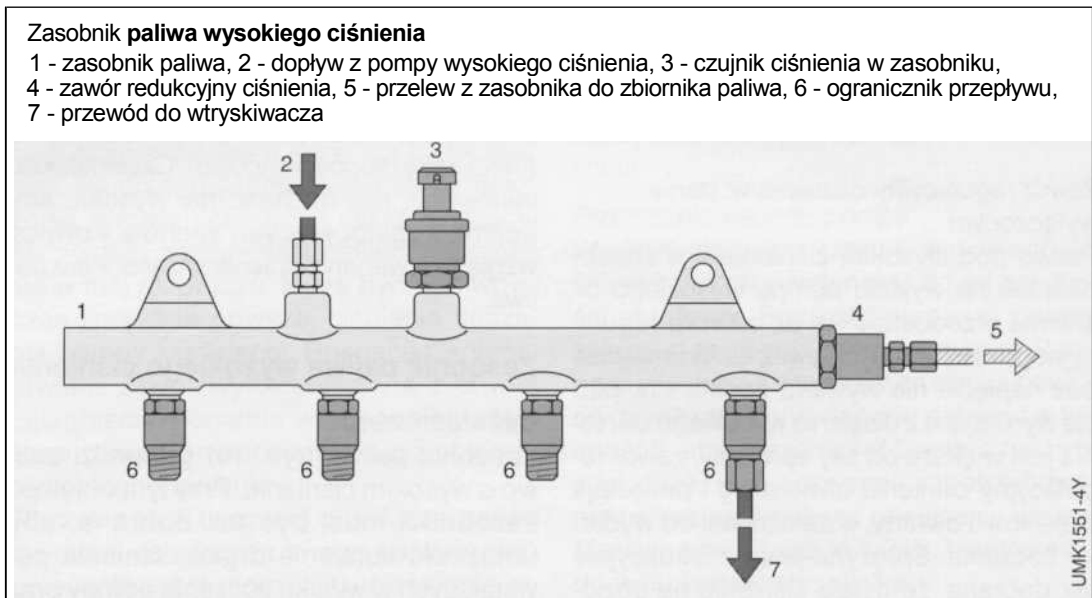
Zasobnik paliwa z ogranicznikami przepływu (opcja) i możliwością wbudowania czujnika ciśnienia, zaworem regulacyjnym ciśnienia oraz zaworem redukcyjnym ciśnienia może być ukształtowany w różny spo-

sób, w zależności od warunków zabudowy silnika.

Działanie

Objętość zasobnika jest stale napełniana paliwem pod ciśnieniem. Uzyskiwana wskutek wysokiego ciśnienia ściśliwość paliwa jest wykorzystywana do uzyskania efektu magazynowania paliwa. Mimo pobierania przez wtryskiwacze z zasobnika paliwa niezbędnego do wtrysku, ciśnienie w zasobniku pozostaje w przybliżeniu stałe. Również wahania ciśnienia, wynikające z pulsacyjne-

Rysunek 10



Rysunek 11



go zasilania, są tłumione, tzn. wyrównywane przez pompę wysokiego ciśnienia.

Czujnik ciśnienia w zasobniku

Cel stosowania

Czujnik ciśnienia mierząc aktualne ciśnienie w zasobniku paliwa z dostateczną dokładnością i w odpowiednio krótkim czasie dostarcza do sterownika odpowiedni sygnał napięcia.

Budowa

Czujnik ciśnienia w zasobniku (rys. 12) składa się z następujących części:

- wbudowanego elementu pomiarowego,
- płytki z obwodem elektrycznym,
- obudowy czujnika ze złączem elektrycznym.

Czujnik ciśnienia, wkręcony w otwór zasobnika paliwa, ma kanał ze ślepą studzienką szczelnie zastłoniętą przeponą. Paliwo pod ciśnieniem przedostaje się tym kanałem do przepony czujnika, na której znajduje się element pomiarowy (półprzewodnikowy) przetwarzający ciśnienie w sygnał elektryczny. Wytworzony sygnał jest doprowadzany przewodem do obwodu elektrycznego obróbki sygnału, który wzmacnia sygnał pomiarowy i przesyła go do sterownika.

Działanie

Czujnik ciśnienia działa w następujący sposób.

Odształcenie przepony (około 1 mm przy 150 MPa) spowodowane narastaniem ci-

śnienia w układzie wywołuje zmianę rezystancji umieszczonych na niej warstw półprzewodnikowego elementu pomiarowego i powoduje zmianę napięcia w mostku pomiarowym zasilanym napięciem 5 V. Zmiana napięcia wynosi od 0 do 70 mV (w zależności od działającego ciśnienia) i jest wzmacniana do wartości od 0,5 do 4,5 V.

Dokładny pomiar ciśnienia w zasobniku paliwa jest niezbędny do działania układu. Z tego powodu również dopuszczalne tolerancje pomiaru ciśnienia są bardzo małe. Dokładność pomiaru wynosi około $\pm 2\%$ wartości końcowej dla głównego zakresu pracy. W przypadku uszkodzenia czujnika ciśnienia zawór regulacyjny ciśnienia pracuje w trybie awaryjnym („ślepy”) przy stałych wartościach zastępczych.

Zawór redukcyjny ciśnienia

Cel stosowania

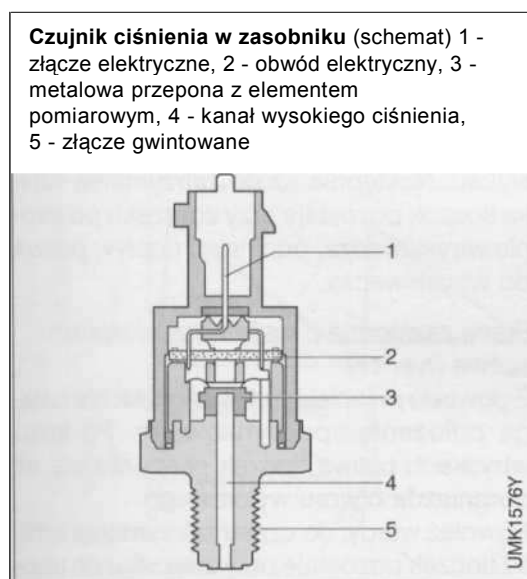
Cel stosowania zaworu redukcyjnego jest taki sam, jak zaworu nadciśnieniowego. Zawór redukcyjny ogranicza ciśnienie w zasobniku paliwa otwierając otwór odpływu przy zbyt dużym obciążeniu. Dopuszcza on ciśnienie w zasobniku wynoszące krótkotrwale do 150 MPa.

Budowa i działanie

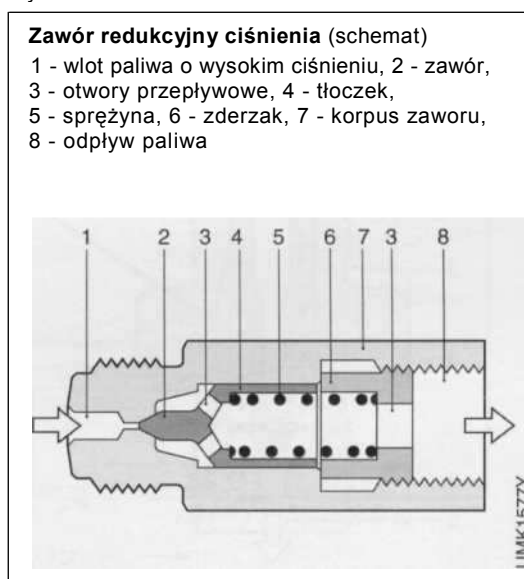
Zawór redukcyjny ciśnienia składa się z następujących części mechanicznych: - korpusu z gwintem zewnętrznym do wkręcania w zasobnik,

Budowa i działanie

Rysunek 12



Rysunek 13



- złącza przewodu przelewowego do zbiornika paliwa,
- sprężyny.

Korpus ma otwór po stronie połączenia z zasobnikiem, który jest zamykany stożkową końcówką tłoczka w gnieździe wewnątrz korpusu. Przy normalnym ciśnieniu roboczym (do 135 MPa) sprężyna dociska tłoczek do gniazda odcinając odpływ z zasobnika. Po przekroczeniu maksymalnego ciśnienia w układzie tłoczek zostaje przesunięty pod działaniem siły pochodzącej od ciśnienia paliwa w zasobniku pokonującej siłę sprężyny i paliwo może się rozprężyć, a następnie odpływa kanałami do osiowego otworu w tłoczku i zbiorczym przewodem z powrotem do zbiornika paliwa. Ciśnienie w zasobniku spada.

Ogranicznik przepływu

Cel stosowania

Ogranicznik przepływu eliminuje ewentualność ciągłego wtryskiwania paliwa przez wtryskiwacze. Ogranicznik odcina dopływ paliwa do wtryskiwacza w przypadku przekroczenia maksymalnego poboru ilości paliwa z zasobnika.

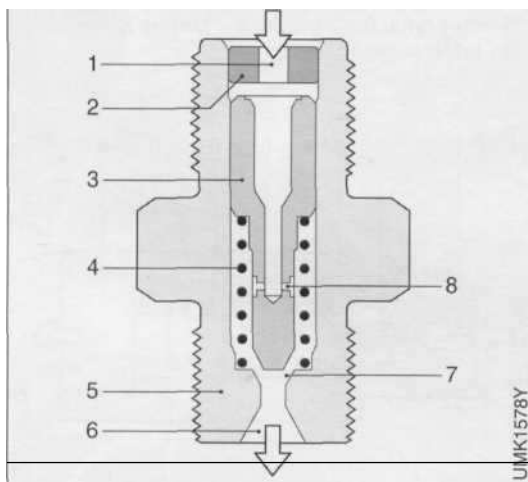
Budowa

Ogranicznik przepływu (rys. 14) składa się z metalowego korpusu z gwintowym mocowaniem do zasobnika z jednej strony oraz gwintem do wkręcania w przewód wtryski-

Rysunek 14

Ogranicznik przepływu (schemat)

- 1 - kanał przepływu od zasobnika (wlot),
- 2 - zderzak, 3 - tłoczek, 4 - sprężyna,
- 5 - korpus, 6 - kanał przepływu do wtryskiwacza (wylot), 7 - gniazdo, 8 - dławik



wacza po drugiej stronie. Korpus ma przełotowy otwór, stanowiący hydrauliczne połączenie z zasobnikiem i przewodami wtryskiwaczy.

Wewnątrz otworu ogranicznika przepływu znajduje się tłoczek, dociskany sprężyną w kierunku zasobnika paliwa. Tłoczek blokuje swobodny przepływ paliwa przez korpus ogranicznika. Jedynym połączeniem hydraulicznym między wlotem a wylotem (rys. 14) są kalibrowane otwory tłoczka stanowiące dławik o dokładnie dobranym przepływie.

Działanie

Praca normalna (rys. 15) Tłoczek znajduje się w położeniu spoczynkowym, tzn. przy zderzaku po stronie zasobnika paliwa. Wskutek wtrysku ciśnienie paliwa po stronie wtryskiwacza się zmniejsza i tłoczek zostaje przepchnięty w kierunku wtryskiwacza. Pobór paliwa przez wtryskiwacz ogranicznik przepływu kompensuje objętością przetłoczoną przez tłoczek, a nie przez dławik, ponieważ jest on za mały. Po zakończeniu wtrysku tłoczek się zatrzymuje nie zamykając gniazda. Sprężyna przesuwa go z powrotem do położenia spoczynkowego; przez dławik przepływa paliwo. Wymiary sprężyny i otwory dławika są tak dobrane, aby dla maksymalnej dawki wtrysku (łącznie z rezerwą bezpieczeństwa) tłoczek mógł ponownie przesunąć się do zderzaka po stronie zasobnika. To położenie spoczynkowe zostaje zachowane aż do następnego wtrysku paliwa.

Praca zakłócona z dużym przeciekami paliwa

Wskutek dużego poboru paliwa tłoczek przesuwa się z położenia spoczynkowego i zostaje dociśnięty do gniazda po stronie wylotu. Następnie aż do zatrzymania silnika tłoczek pozostaje przy zderzaku po stronie wtryskiwacza, odcinając dopływ paliwa do wtryskiwacza.

Praca zakłócona z małym przeciekami paliwa (rys. 15)

Z powodu przecieku paliwa tłoczek nie osiąga położenia spoczynkowego. Po kilku wtryskach paliwa tłoczek przesuwa się aż do gniazda otworu wylotowego. Również wtedy, do czasu zatrzymania silnika tłoczek pozostaje przy zderzaku po stro-

nie wtryskiwacza, odcinając dopływ paliwa do wtryskiwacza.

Wtryskiwacz

Cel stosowania

Początek wtrysku i dawka wtrysku paliwa są regulowane za pomocą elektrycznie sterowanego wtryskiwacza, który w układzie Common Rail pełni rolę wtryskiwacza mechanicznego stosowanego w zwykłym układzie wtryskowym. Wtryskiwacze są mocowane w głowicy cylindra jarzmem dociskowym w podobny sposób, jak w silnikach wysokoprężnych o wtrysku bezpośrednim. Dlatego wtryskiwacze układu Common Rail można stosować w silnikach wysokoprężnych o wtrysku bezpośrednim bez istotnych zmian w głowicy cylindrów.

Budowa

Wtryskiwacz można podzielić na trzy człony funkcjonalne:

- rozpylacz,
- hydrauliczny układ wspomagający,
- zawór elektromagnetyczny.

Od złącza (4, rys. 16) wysokiego ciśnienia paliwo dopływa kanałem (10) do rozpylacza oraz przez dławik (7) do komory sterującej (8) zaworu połączonej z przelewem (1) przez dławik (6) odpływu, który może być otwierany przez zawór elektromagnetyczny.

Przy zamkniętym dławiku odpływu siła działająca na tłoczek sterujący (9) zaworu jest mniejsza niż działająca przeciwnie siła docisku igły (11) rozpylacza, która dociska do

gniazda igłę rozpylacza zamykającą kanał wysokiego ciśnienia. W ten sposób paliwo nie może być wtrysnięte do komory spalania silnika.

Po włączeniu zaworu elektromagnetycznego otwiera się dławik odpływu, ciśnienie w komorze sterowania zaworu spada i maleje siła oddziaływania tego ciśnienia na tłoczek sterujący. Gdy tylko siła ta będzie mniejsza niż siła docisku rozpylacza, wówczas rozpylacz się otworzy i paliwo zostanie wtrysnięte do komory spalania silnika przez otwory rozpylacza. To pośrednie sterowanie igłą przez układ wzmocnienia siły zastosowano dlatego, że siły niezbędne do szybkiego otwarcia igły rozpylacza nie mogą być wytworzone bezpośrednio przez zawór elektromagnetyczny. Niezbędna przy tym, niezależna od dawki wtrysku paliwa, tzw. dawka sterująca jest odprowadzana przez dławik odpływu komory sterującej do kanału przelewu paliwa. Oprócz dawki sterującej występują jeszcze przecieki paliwa na prowadnicach igły rozpylacza i tłoczka zaworu, które są odprowadzane z powrotem do zbiornika paliwa przez kanał przelewu przewodem zbiorczym, z którym są również połączone: zawór przelewowy, pompa wysokiego ciśnienia oraz zawór regulacyjny ciśnienia.

Działanie

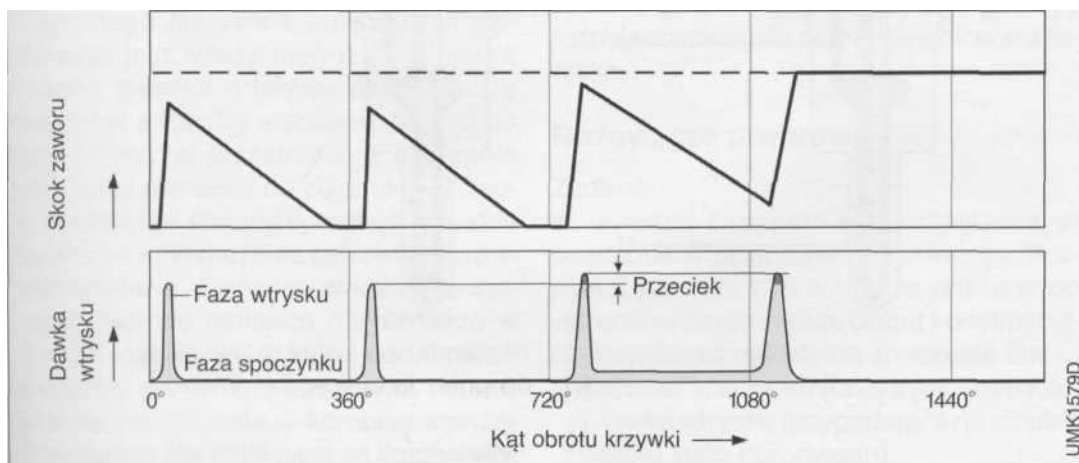
Podczas działania wtryskiwacza przy pracującym silniku i działającej pompie wysokiego ciśnienia można wyróżnić cztery stany pracy:

Budowa i działanie

Rysunek 15

Ogranicznik przepływu

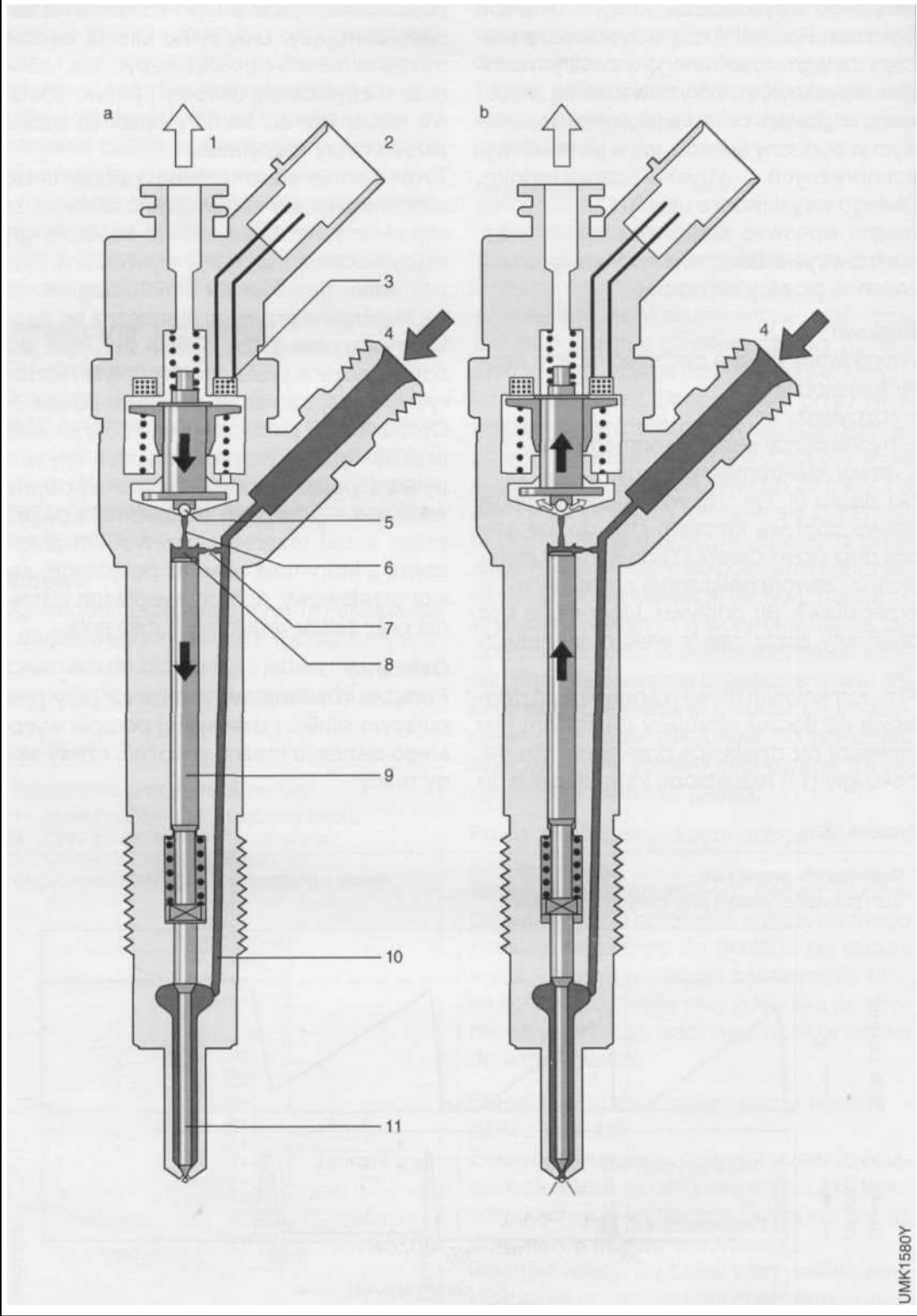
Stan normalnej pracy i przy małych przeciekach



Wtryskiwacz (schemat)

a - wtryskiwacz zamknięty (stan spoczynku), b - wtryskiwacz otwarty (wtrysk paliwa)

1 - króciec przelewu paliwa, 2 - złącze elektryczne, 3 - cewka elektromagnesu, 4 - złącze dopływu paliwa wysokiego ciśnienia z zasobnika, 5 - kulka kotwicy zaworu, 6 - dławik odpływu, 7 - dławik dopływu, 8 - komora sterująca zaworu, 9 - tłoczek sterujący zaworu, 10 - kanał dopływu paliwa do rozpylacza, 11 - igła rozpylacza



- wtryskiwacz zamknięty (pod wysokim ciśnieniem),
- otwieranie się wtryskiwacza (początek wtrysku),
- wtryskiwacz całkowicie otwarty,
- zamykanie się wtryskiwacza (koniec wtrysku).

Występowanie tych stanów zależy od chwilowego rozkładu sił działających na elementy wtryskiwacza. Przy zatrzymanym silniku i braku ciśnienia w zasobniku siła działania sprężyny rozpylacza zamyka wtryskiwacz.

Wtryskiwacz zamknięty (stan spoczynku)

Przez zawór elektromagnetyczny w stanie spoczynku nie płynie prąd i dlatego jest on zamknięty (rys. 16a).

Gdy dławik odpływu jest zamknięty, kulka kotwicy jest dociskana siłą sprężyny zaworu do gniazda dławika odpływu. W komorze sterującej panuje wysokie ciśnienie (równe ciśnieniu w zasobniku paliwa). To samo ciśnienie panuje również w komorze rozpylacza. Działająca na powierzchnię czołową tłoczka sterującego siła wynikająca z ciśnienia paliwa w zasobniku oraz siła sprężyny rozpylacza, skierowane przeciwnie do siły otwierającej rozpylacz, utrzymują igłę rozpylacza w stanie zamkniętym.

Otwieranie się wtryskiwacza (początek wtrysku)

Gdy przez cewkę zaworu elektromagnetycznego zaczyna przepływać prąd (tzw. prąd przyciągania), wywołuje on szybkie otwarcie tego zaworu (rys. 16b). Siła elektromagnesu pokonuje siłę sprężyny zaworu i kotwica otwiera dławik odpływu. Następuje spadek prądu przyciągania elektromagnesu do wartości zapewniającej podtrzymanie otwarcia zaworu elektromagnetycznego (szczelina obwodu magnetycznego jest wtedy nieduża). Z chwilą otwarcia dławika odpływu paliwo może przepłynąć z komory sterującej zaworu do leżącej powyżej przestrzeni, a następnie przez kanał przelewu do zbiornika. Ciśnienie w komorze sterującej maleje, zaś dławik odpływu uniemożliwia całkowite wyrównanie ciśnienia. Ciśnienie w komorze sterującej staje się mniejsze niż ciśnienie w komorze rozpylacza, w której nadal panuje wysokie ciśnienie z zasobnika paliwa. Zmniejszone ciśnienie w komorze sterującej zmniejsza siłę działającą na tłoczek ste-

rujący i następuje otwarcie igły rozpylacza oraz rozpoczyna się wtrysk paliwa. Szybkość otwarcia igły rozpylacza jest określona różnicą intensywności przepływu między dławikiem dopływu i dławikiem odpływu. Tłoczek sterujący dochodzi do górnego zderzaka i utrzymuje się na tzw. poduszce paliwa wytwarzanej przez strumień paliwa przepływającego między dławikiem dopływu i dławikiem odpływu. Rozpylacz wtryskiwacza jest wtedy całkowicie otwarty i paliwo jest wtryskiwane do komory spalania pod ciśnieniem odpowiadającym w przybliżeniu ciśnieniu w zasobniku. Rozkład sił na wtryskiwaczu jest podobny do rozkładu sił w fazie otwierania.

Zamykanie się wtryskiwacza (koniec wtrysku)

Po zaniku prądu w uzwojeniu sterującym zaworu elektromagnetycznego kotwica jest dociskana w dół siłą sprężyny zaworu i kulka zamyka dławik odpływu. Kotwica jest dwuczęściowa. Płytką kotwicy jest poruszana w dół przez zabierak, może być jednak ugięta w dół przez sprężynę powrotną bez wywierania żadnej siły działającej w dół na kotwicę i kulkę. Wskutek zamknięcia dławika odpływu paliwo przepływające przez dławik dopływu ponownie zwiększa ciśnienie w komorze sterującej do poziomu ciśnienia w zasobniku. Podwyższone ciśnienie wywiera zwiększoną siłę na tłoczek sterujący. Oddziaływanie siły pochodzącej od ciśnienia paliwa w komorze sterującej oraz siły sprężyny jest wówczas większe niż siły wytworzonej przez ciśnienie w komorze ciśnieniowej rozpylacza i następuje zamknięcie igły rozpylacza. Szybkość zamknięcia igły rozpylacza określają warunki przepływu paliwa przez dławik dopływu. Wtrysk kończy się, gdy igła rozpylacza osiągnie położenie dolnego zderzaka.

Rozpylacze otworowe

Zadania

W układzie Common Rail rozpylacze są osadzone w obudowie wtryskiwaczy. Rozpylacze muszą być starannie dobrane do warunków pracy silnika. Dobór konstrukcyjny rozpylacza ma istotne znaczenie dla: - dozowania wtrysku (czas trwania wtrysku i dawka wtrysku przypadająca na stopień obrotu wału korbowego),

Common Rail

- przygotowania paliwa (liczba strumieni, kształt strumienia i rozpylenie strumienia wtrysku) oraz rozdzielenia paliwa w komorze spalania,
- zapewnienia szczelności komory spalania.

Zastosowanie

W silnikach o wtrysku bezpośrednim z układem Common Rail stosuje się rozpylacze otworowe typu P o średnicy igły 4 mm. Istnieją dwa rodzaje rozpylaczy otworowych:

- rozpylacze ze studzienką,
- rozpylacze z gniazdem.

Budowa

Kanaliki wtryskowe są rozmieszczone w korpusie rozpylacza na pobocznicach stożka strumienia (rys. 17). Liczba i średnica kanałków wtryskowych zależy od:

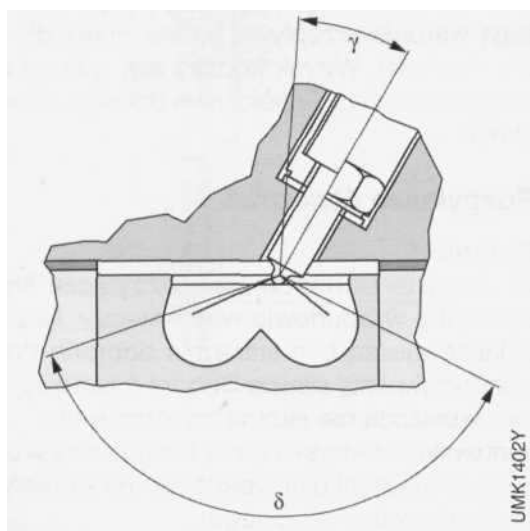
- dawki wtrysku,
- kształtu komory spalania,
- intensywności zawirowania powietrza w komorze spalania.

Zarówno w rozpylaczach otworowych ze studzienką, jak i w rozpylaczach otworowych z gniazdem krawędzie otworów kanałków wtryskowych mogą być zaokrąglone obróbką hydroerozywną (HE). Celem stosowania zaokrąglenia krawędzi otworów kanałków jest:

- uniknięcie zużycia krawędzi wywołanego cząstkami ściemnymi zawartymi w paliwie,
- zawężenie tolerancji wydatku paliwa.

Rysunek 17

Stożek strumienia paliwa
γ - pochylenie stożka, δ - kąt wtrysku



W celu uzyskania małej emisji węglowodorów szczególnie istotne jest utrzymywanie jak najmniejszej przestrzeni wypełnionej paliwem (przestrzeni resztkowej). Właściwość tę mają rozpylacze otworowe z gniazdem.

Odmiany

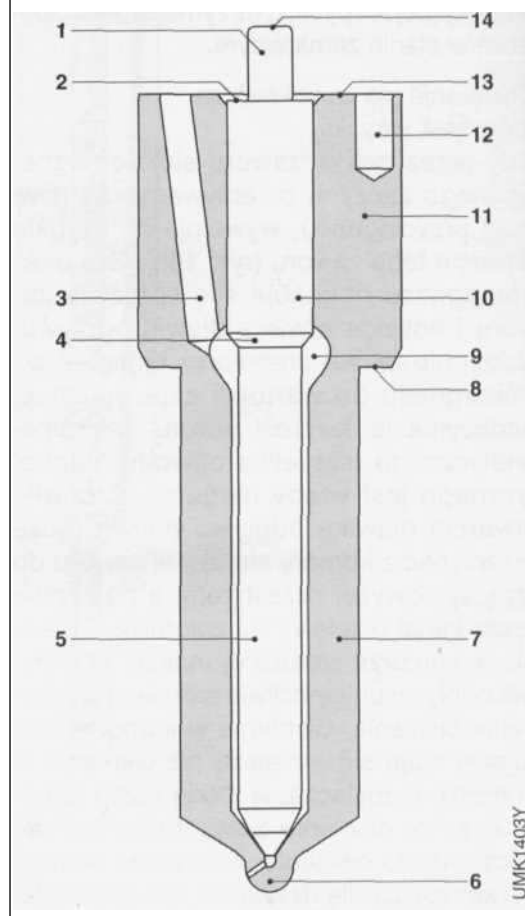
Rozpylacz otworowy ze studzienką

Kanaliki wtryskowe rozpylaczy otworowych ze studzienką (rys. 18) są usytuowane w studzience. W kulistej końcówce korpusu kanałki wykonuje się, w zależności od konstrukcji, za pomocą obróbki mechanicznej lub elektroerozyjnej. Rozpylacze otworowe ze studzienką i końcówką stożkową na ogół są wiercone elek-

Rysunek 18

Rozpylacz otworowy ze studzienką

1 - czop igły rozpylacza, 2 - powierzchnia zderzaka skoku, 3 - kanał dopływu, 4 - odsadzenie, 5 - trzpień igły, 6 - końcówka rozpylacza, 7 - korpus rozpylacza, 8 - osadzenie korpusu rozpylacza, 9 - komora ciśnieniowa, 10 - powierzchnia prowadząca igły, 11 - kołnierz korpusu rozpylacza, 12 - otwór ustalający, 13 - powierzchnia uszczelniająca, 14 - powierzchnia czołowa czopa igły



troerozyjnie. Rozpylacze otworowe ze studzienką oferuje się w odmianach ze studzienką walcową lub stożkową w różnych rozmiarach.

1. Rozpylacz otworowy ze studzienką walcową i końcówką kulistą

Kształt studzienki, składającej się z części walcowej i półkulistej, umożliwia większą swobodę doboru liczby i długości kanałków wtryskowych oraz kąta wtrysku. Końcówka rozpylacza ma kształt półkuli i dlatego, w powiązaniu z kształtem studzienki, zapewnia jednakową długość kanałków.

2. Rozpylacz otworowy ze studzienką walcową i końcówką stożkową

Ten typ rozpylacza jest stosowany tylko dla długości kanałków 0,6 mm. Stożkowy kształt końcówki zwiększa jej wytrzymałość dzięki większej grubości ścianki między promieniem żłobka i gniazdem korpusu rozpylacza.

3. Rozpylacz otworowy ze studzienką stożkową i końcówką stożkową

Objętość studzienki rozpylacza otworowego ze studzienką i końcówką stożkową jest mniejsza w porównaniu z rozpylaczem ze studzienką walcową. Pod względem objętości studzienki znajduje się on między rozpylaczem otworowym z gniazdem a rozpylaczem otworowym ze studzienką walcową. Dla zachowania równomiernej grubości ścianki końcówka rozpylacza ma kształt stożkowy, odpowiednio do kształtu studzienki.

4. Rozpylacz otworowy z gniazdem przy igrze

W celu zminimalizowania objętości resztkowej - a tym samym emisji węglowodorów - otwór wlotowy kanałki wtryskowego został

wykonany na powierzchni gniazda przylgni tak, że przy zamkniętym rozpylaczu jest całkowicie zasłonięty przez igłę. Nie ma zatem bezpośredniego połączenia między studzienką i komorą spalania (rys. 19). Objętość resztkowa (szkodliwa) w tym rozpylaczu jest znacznie zredukowana w porównaniu z rozpylaczem ze studzienką. Rozpylacze z gniazdem w porównaniu z rozpylaczami otworowymi ze studzienką mają znacznie mniejszą wytrzymałość, więc mogą być wykonane tylko w wielkości P o długości kanałków 1 mm. Kształt końcówki ze względów wytrzymałościowych jest stożkowy. Kanałki wtryskowe z reguły są wiercone elektroerozyjnie.

Sterowanie elektroniczne EDC

Bloki funkcjonalne

Elektroniczne sterowanie EDC silnika wysokoprężnego z układem Common Rail zawiera trzy bloki funkcjonalne.

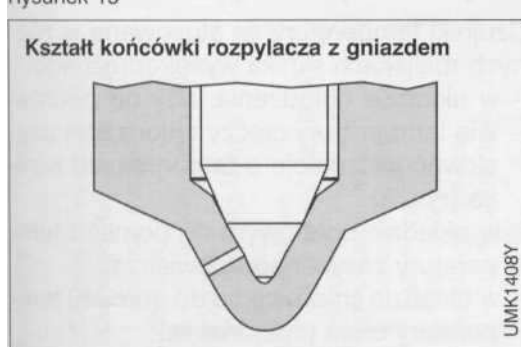
1. Czujniki i nadajniki wartości znamionowych do określenia warunków pracy silnika i wartości znamionowych. Przetwarzają one różne wielkości fizyczne w sygnały elektryczne.
2. Sterownik do przetwarzania otrzymanych informacji w elektryczne sygnały wyjściowe według określonych algorytmów obliczeniowych (algorytmy regulacyjne).
3. Elementy wykonawcze do przetwarzania elektrycznych sygnałów wyjściowych sterownika w wielkości mechaniczne.

Czujniki (rys. 2)

Czujnik prędkości obrotowej wału korbowego

Położenie tłoka w cylindrze ma decydujące znaczenie dla określenia właściwej dawki wtrysku. Prędkość obrotowa stanowi liczbę obrotów wału korbowego na minutę. Ta ważna wielkość wejściowa jest obliczana w sterowniku na podstawie sygnału indukcyjnego czujnika prędkości obrotowej wału korbowego.

Rysunek 19



Wytwarzanie sygnału

Na wale korbowym jest umieszczone ferromagnetyczne koło nadajnika impulsów, które na obwodzie ma 60 - 2 zęby, bowiem dwa zęby są usunięte. Ten szczególnie duży wręb międzyzębny jest przyporządkowany ściśle określonemu położeniu wału korbowego odniesionemu do tłoka 1. cylindra. Czujnik prędkości obrotowej wału korbowego, odczytujący kolejność zębów koła nadajnika impulsów, składa się z magnesu stałego i rdzenia z miękkiego żelaza oraz cewki z uzwojeniem miedzianym (rys. 1). Ponieważ zęby i wręby międzyzębne na zmianę mijają czujnik, zmienia się w nim strumień magnetyczny indukując siłę elektromotoryczną, w wyniku czego powstaje zmienne napięcie. Amplituda tego napięcia rośnie wraz ze zwiększeniem prędkości obrotowej. Wystarczająca amplituda występuje od prędkości 50 obr/min silnika.

Obliczanie prędkości obrotowej

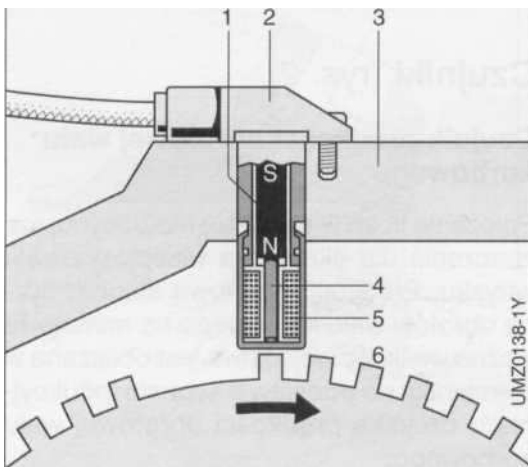
Cykl pracy w cylindrach silnika przebiega w ten sposób, że po dwóch obrotach wału korbowego (720°) w pierwszym cylindrze zaczyna się nowy cykl pracy. Przy równomiernym rozkładzie przesunięcia cyklu pracy odstęp między kolejnymi zapłonami można obliczyć na podstawie następującej zależności:

$$\text{Odstęp zapłonów } [^\circ] = \frac{720^\circ}{\text{liczba cylindrów}}$$

Rysunek 1

Czujnik prędkości obrotowej wału korbowego

- 1 - magnes stały, 2 - obudowa, 3 - kadłub silnika, 4 - rdzeń z miękkiego żelaza, 5 - uzwojenie, 6 - koło nadajnika impulsów



Dla silnika czterocyłindrowego odstęp zapłonów wynosi 180° , czyli czujnik prędkości obrotowej wału korbowego musi odczytać po 30 zębów między dwoma zapłonami. Niezbędny do tego czas jest nazywany czasem segmentów. Średnia prędkość obrotowa wału korbowego w czasie segmentów jest sygnałem prędkości obrotowej.

Czujnik prędkości obrotowej wału rozrządu

Wał rozrządu steruje zaworami dolotowymi i wylotowymi silnika. Jego prędkość obrotowa jest o połowę mniejsza od prędkości obrotowej wału korbowego. Położenie wału rozrządu określa, czy tłok poruszający się w kierunku GMP znajduje się w trakcie suwu sprężania, czy w trakcie suwu wylotu. Z położenia wału korbowego informacji tej nie można uzyskać podczas uruchamiania silnika. Natomiast w czasie pracy silnika informacja dostarczana przez czujnik położenia wału korbowego wystarcza do określenia rodzaju suwu silnika. Oznacza to, że w przypadku uszkodzenia czujnika prędkości obrotowej wału rozrządu podczas pracy silnika sterownik będzie informowany o kolejnych suwach w silniku. Określenie położenia wału rozrządu za pomocą czujnika prędkości obrotowej wału rozrządu polega na wykorzystaniu tzw. efektu Halla. Wał rozrządu ma ząb wykonany z materiału ferromagnetycznego obracający się razem z wałem. W chwili, gdy ząb mija płytkę półprzewodnikową czujnika przewodzącą prąd, jego pole magnetyczne odchyła elektrony na płytce prostopadle do kierunku przepływu prądu. Powstaje krótkotrwały sygnał napięcia (efekt Halla) informujący sterownik silnika, że w 1. cylindrze występuje suw sprężania.

Czujniki temperatury

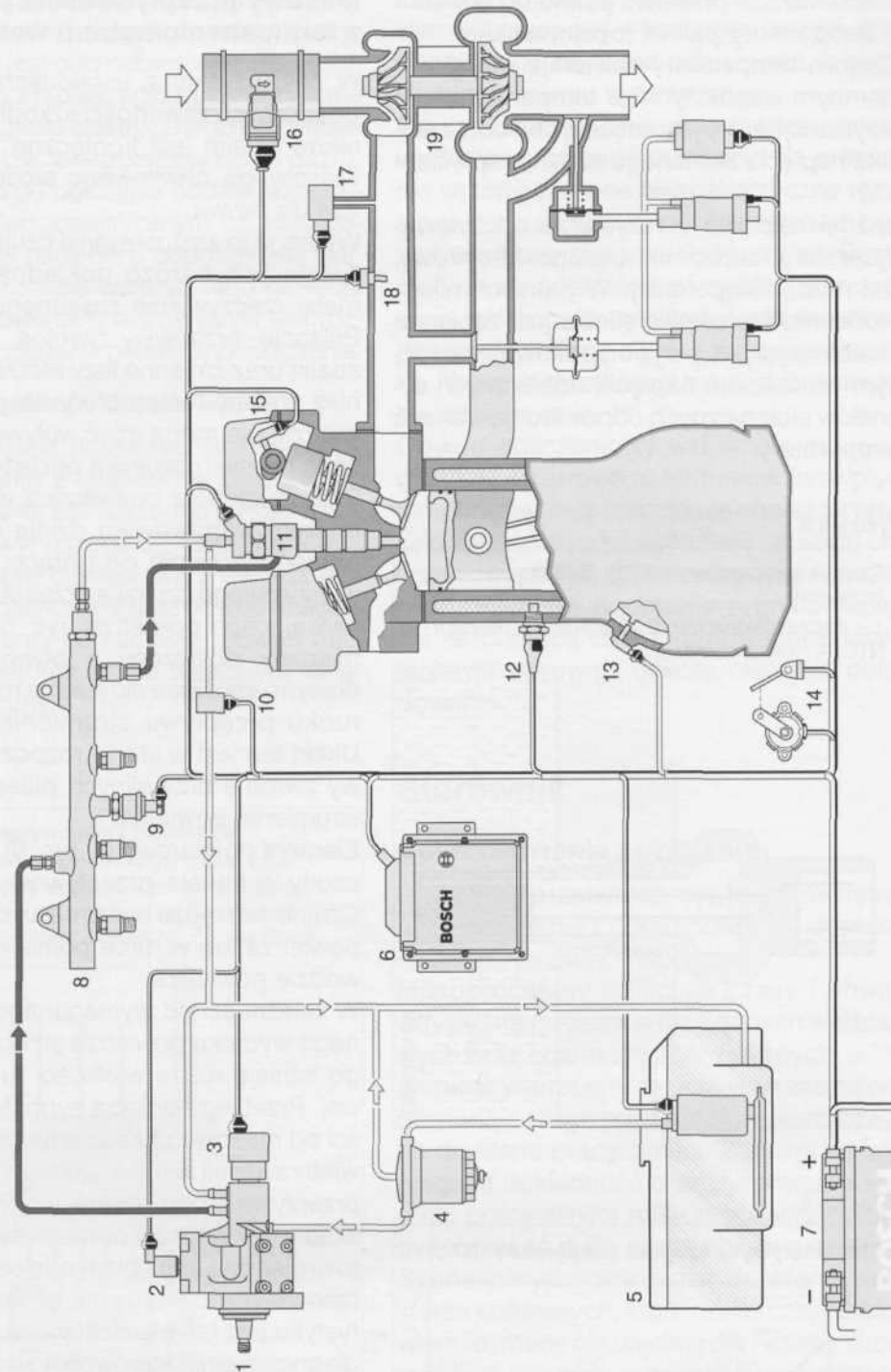
Czujniki temperatury są stosowane w różnych miejscach silnika wysokoprężnego:

- w układzie chłodzenia, aby na podstawie temperatury cieczy chłodzącej uzyskać informacje o temperaturze silnika (rys. 3),
- w układzie dolotowym do pomiaru temperatury zasysanego powietrza,
- w układzie smarowania do pomiaru temperatury oleju (opcjonalnie),

Rysunek 2

**Czujniki układu zasilania
Common Rail**

- 1 – pompa wysokiego ciśnienia,
- 2 – zawór odłączający sekcję tłoczącą,
- 3 – zawór regulacyjny ciśnienia,
- 4 – filtr paliwa,
- 5 – zbiornik paliwa z filtrem wstępnego oczyszczania i pompą zasilającą,
- 6 – sterownik elektroniczny,
- 7 – akumulator,
- 8 – zasobnik paliwa wysokiego ciśnienia,
- 9 – czujnik ciśnienia w zasobniku,
- 10 – czujnik temperatury paliwa,
- 11 – wtryskiwacz,
- 12 – czujnik temperatury cieczy chłodzącej,
- 13 – czujnik prędkości obrotowej wału korbowego,
- 14 – czujnik pedał przyspieszenia,
- 15 – czujnik prędkości obrotowej wału rozrządu,
- 16 – masowy przepływomierz powietrza,
- 17 – czujnik ciśnienia doładowania,
- 18 – czujnik temperatury zasysanego powietrza,
- 19 – turbosprężarka



UMK1551-5Y

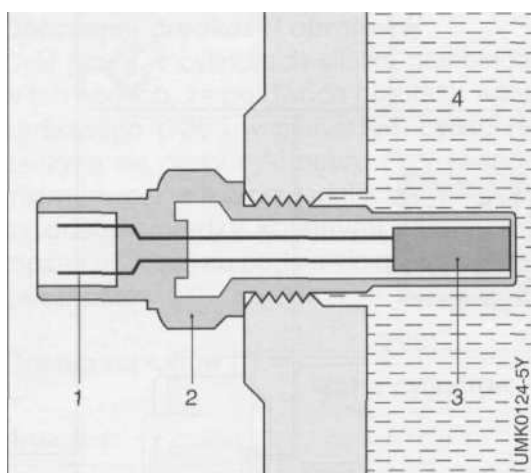
- w obwodzie przelewu paliwa do pomiaru temperatury paliwa (opcjonalnie). Czujniki temperatury zawierają rezystor o ujemnym współczynniku temperaturowym rezystancji, który jest częścią obwodu dzielnika napięcia zasilanego stałym napięciem 5V.

Spadek napięcia na rezystorze, odczytywany przez przetwornik analogowo-cyfrowy, jest miarą temperatury. W pamięci mikroprocesora sterownika silnika jest zapisana charakterystyka przyporządkowująca różnym wartościom napięcia odbieranych sygnałów elektrycznych odpowiednią wartość temperatury.

Rysunek 3

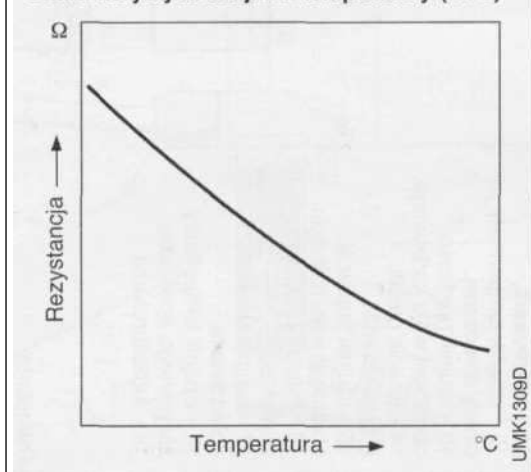
Czujnik temperatury cieczy chłodzącej (schemat)

1 - złącze elektryczne, 2 - korpus, 3 - rezystor NTC, 4 - ciecz chłodząca



Rysunek 4

Charakterystyka czujnika temperatury (NTC)



Masowy przepływomierz powietrza z termoanemometrem warstwowym

W celu uzyskania ustalonych przepisami granicznych zawartości szkodliwych składników spalin jest konieczne zachowanie właściwego chwilowego stosunku powietrza do paliwa.

Wymaga to zastosowania czujników umożliwiających bardzo dokładne określenie masy rzeczywiście zasysanego powietrza. Pulsacje, przepływy zwrotne, recyrkulacja spalin oraz zmienne fazy rozrządu, jak również zmiany temperatury zasysanego powietrza, nie mogą mieć wpływu na dokładność pomiaru czujnika obciążenia. Przepływomierz powietrza z termoanemometrem warstwowym działa na zasadzie odbierania ciepła od gorącego elementu warstwowego czujnika przez strumień przepływającego powietrza (rys. 5). Układ pomiarowy połączony z obwodem hybrydowym umożliwia określenie masy oraz kierunku przepływu strumienia powietrza. Układ ten jest w stanie rozpoznać przepływy zwrotne przy silnych pulsacjach masy strumienia powietrza. Element pomiarowy (5, rys. 5) jest umieszczony w kanale przepływowym czujnika. Czujnik ten może być umieszczony w filtrze powietrza lub w rurce pomiarowej w przewodzie powietrza. W zależności od wymaganego maksymalnego wydatku powietrza silnika spalinowego istnieją różne wielkości rurki pomiarowej. Przebieg napięcia sygnału w zależności od masowego natężenia przepływu powietrza dzieli się na zakresy sygnału dla przepływu w obu kierunkach. W celu zwiększenia dokładności pomiaru sygnał jest porównywany z napięciem odniesienia wytwarzanym przez sterownik silnika. Charakterystyka jest tak ukształtowana, że podczas diagnozowania sterownika silnika w warsztacie można wykryć np. przerwanie przewodu. Do pomiaru temperatury zasysanego powietrza może być zastosowany czujnik temperatury.

Czujnik pedału przyspieszenia

W przeciwieństwie do konwencjonalnych pomp wtryskowych rozdzielaczowych i rędowych w elektronicznym układzie sterowania EDC wciskanie przez kierującego

pedału przyspieszenia nie jest przekazywane przez linkę lub cięgna do pompy wtryskowej, lecz jest ono odbierane przez czujnik pedału przyspieszenia i przekazywane w postaci sygnału elektrycznego do sterownika silnika (tzw. elektroniczny pedał gazu). W zależności od położenia pedału przyspieszenia w potencjometrycznym czujniku pedału powstaje napięcie o odpowiedniej wartości. Na podstawie wartości tego napięcia i zaprogramowanej charakterystyki jest rozpoznawane położenie pedału przyspieszenia.

Czujnik ciśnienia doładowania

Czujnik ciśnienia doładowania, połączony pneumatycznie z kolektorem dolotowym, ocenia ciśnienie bezwzględne w kolektorze dolotowym wynoszące 50...300 kPa. Czujnik ma komorę ciśnieniową z dwoma elementami pomiarowymi oraz obwód obliczeniowy. Elementy pomiarowe i obwód obliczeniowy znajdują się na wspólnym wkładzie ceramicznym.

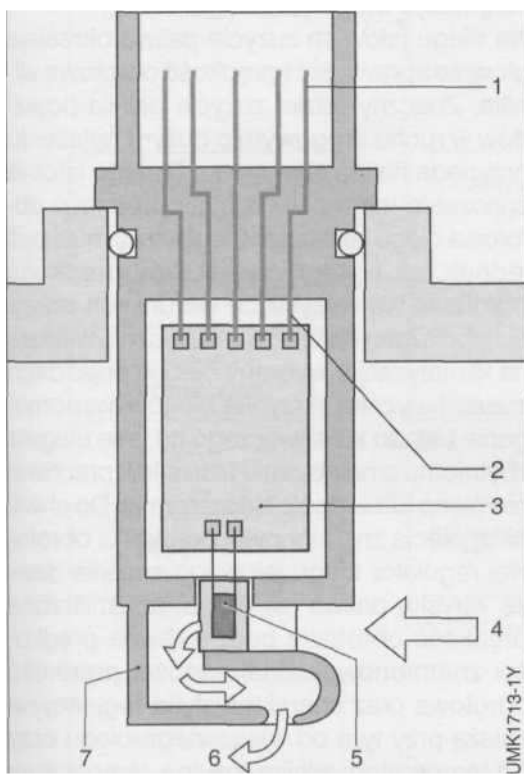
Element pomiarowy składa się z grubowarstwowej przepony w kształcie dzwona, która obejmuje objętość odniesienia o określonym ciśnieniu wewnętrznym. Od wartości ciśnienia doładowania zależy wielkość wychylenia przepony. Na przeponie są umieszczone piezoelektryczne rezystory, których przewodność zmienia się pod wpływem naprężeń mechanicznych. Rezystory te są połączone w mostek pomiarowy w taki sposób, że wychylenie przepony powoduje zmianę stanu równowagi mostka. Napięcie mostka jest zatem miarą ciśnienia doładowania.

Obwód obliczeniowy wzmacnia napięcie mostka pomiarowego kompensując wpływ temperatury oraz linearyzuje charakterystykę ciśnienia. Sygnał wyjściowy obwodu obliczeniowego jest doprowadzany do sterownika silnika. Na podstawie sygnału napięcia za pomocą zaprogramowanej charakterystyki sterownik oblicza ciśnienie doładowania.

Rysunek 5

Masowy przepływomierz powietrza

- 1 - złącza elektryczne, 2 - styki elektryczne, 3 - elektroniczny układ obliczeniowy (obwód hybrydowy), 4 - wlot powietrza, 5 - element pomiarowy, 6 - wylot powietrza, 7 - obudowa



Sterownik

Cel stosowania i działanie

Sterownik przetwarza sygnały zewnętrznych czujników i ogranicza je do dopuszczalnego poziomu napięcia. Mikroprocesory obliczają czasy i chwilę wtrysku na podstawie tych danych wejściowych oraz charakterystyk zawartych w ich pamięci. Wartości te są przetwarzane na odpowiednie przebiegi sygnałów dostosowane do stanu pracy silnika. Z uwagi na wymaganą dokładność oraz dynamiczne warunki pracy silnika mikroprocesory muszą dysponować dużą mocą obliczeniową. Sygnały wyjściowe służą do sterowania stopni końcowych, które dostarczają odpowiedniej mocy niezbędnej dla nastawników regulacji ciśnienia w zasobniku wysokiego ciśnienia i wyłączenia sekcji tłoczących oraz innych nastawników silnika (np. nastawnika recyrkulacji spalin, nastawnika ciśnienia doładowania, przekaźnika elektrycznej pompy paliwa) i realizacji funkcji pomocniczych (np. sterowania przekaźnika dmuchawy, przekaźnika dodatkowego ogrzewania, przekaźnika świec żarowych oraz klimatyzacji). Stopnie końcowe są zabezpieczone przed zwarcim oraz zniszczeniem wsku-

tek przeciążenia elektrycznego. Usterki tego rodzaju, jak również przerwanie przewodów, są przekazywane do mikroprocesora. Funkcje diagnostyczne stopni końcowych sterowania wtryskiwaczy rozpoznają również wadliwe przebiegi sygnałów. Ponadto niektóre sygnały są przekazywane do innych układów pojazdu. Sterownik nadzoruje również cały układ zasilania paliwem. Sterowanie wtryskiwaczy stawia stopniom końcowym szczególne wymagania. Prąd elektryczny wytwarza siłę magnetyczną w cewce zaworu elektromagnetycznego działającą na hydrauliczny układ wysokiego ciśnienia we wtryskiwaczu. Cewka zaworu elektromagnetycznego jest sterowana szybko narastającym impulsem prądu w celu uzyskania małej tolerancji i dużej powtarzalności dawki wtrysku. Taki impuls wymaga wysokiego napięcia gromadzonego w sterowniku.

Podczas regulacji, gdy cewka zaworu jest pod napięciem (czas wtrysku) rozróżnia się fazę przyciągania i fazę utrzymywania. Prąd sterowania musi być dokładnie regulowany tak, aby wtryskiwacz mógł wtryskiwać właściwe dawki w każdym zakresie pracy silnika. Ponadto układ regulacji musi minimalizować moc traconą w sterowniku i wtryskiwaczu.

Warunki pracy

Sterownik musi spełniać wysokie wymagania dotyczące odporności na:

- wpływ temperatury otoczenia (przy normalnej pracy w zakresie od -40°C do $+85^{\circ}\text{C}$),
- ciecze eksploatacyjne (olej, paliwo itd.),
- wilgoć,
- obciążenia mechaniczne.

Bardzo wysokie wymagania dotyczą także odporności elektromagnetycznej oraz ograniczenia emisji wysokoczęstotliwościowych sygnałów zakłócających.

Budowa

Sterownik jest umieszczony w metalowej obudowie. Czujniki, nastawniki oraz zasilanie elektryczne są podłączone do sterownika za pośrednictwem złącza wielostykowego. Elementy mocy służące do bezpośredniego sterowania nastawników są umieszczone w obudowie sterownika w sposób zapewniający dobre odprowadze-

nie ciepła do obudowy. Sterownik wykonuje się w odmianach z obudową uszczelnioną albo nie uszczelnioną.

Regulacja warunków pracy silnika

W celu uzyskania optymalnego spalania we wszystkich warunkach pracy silnika sterownik oblicza chwilowe dawki wtrysku paliwa uwzględniając różne dodatkowe wielkości (rys. 6).

Dawka rozruchowa

Podczas rozruchu dawka paliwa jest obliczana stosownie do temperatury i prędkości obrotowej. Dawka rozruchowa jest podawana od chwili włączenia stacyjki (położenie A, rys. 6), aż do uzyskania minimalnej prędkości obrotowej. Kierujący nie ma żadnego wpływu na dawkę rozruchową.

Jazda

Podczas normalnej jazdy dawka paliwa jest obliczana w zależności od położenia pedału przyspieszenia (czujnik pedału przyspieszenia) oraz prędkości obrotowej (położenie B, rys. 6) na podstawie mapy charakterystyk zapisanej w pamięci urządzenia sterującego. W możliwie najlepszy sposób moc silnika jest dostosowywana do wymagań kierującego.

Regulacja biegu jałowego

Na biegu jałowym zużycie paliwa określają głównie sprawność i prędkość obrotowa silnika. Znaczny udział zużycia paliwa pojazdów w ruchu drogowym o dużym natężeniu przypada na ten stan ruchu. Dlatego istotne znaczenie ma możliwie mała prędkość obrotowa biegu jałowego. Bieg jałowy musi być jednak tak wyregulowany, aby prędkość obrotowa we wszystkich warunkach pracy, tj.: obciążona instalacja elektryczna, włączona klimatyzacja, wybrany bieg w pojazdach z automatyczną skrzynką biegów, wspomaganie układu kierowniczego itd., nie ulegała zbyt niemu zmniejszeniu albo silnik pracował nierówno lub w ogóle się zatrzymał. Do chwili osiągnięcia znamionowej prędkości obrotowej regulator biegu jałowego zmienia dawkę wtrysku paliwa tak długo, aż zmierzona prędkość obrotowa będzie równa prędkości znamionowej. Znamionowa prędkość obrotowa oraz charakterystyka regulacyjna zależą przy tym od włączonego biegu oraz od temperatury silnika (czujnik temperatury

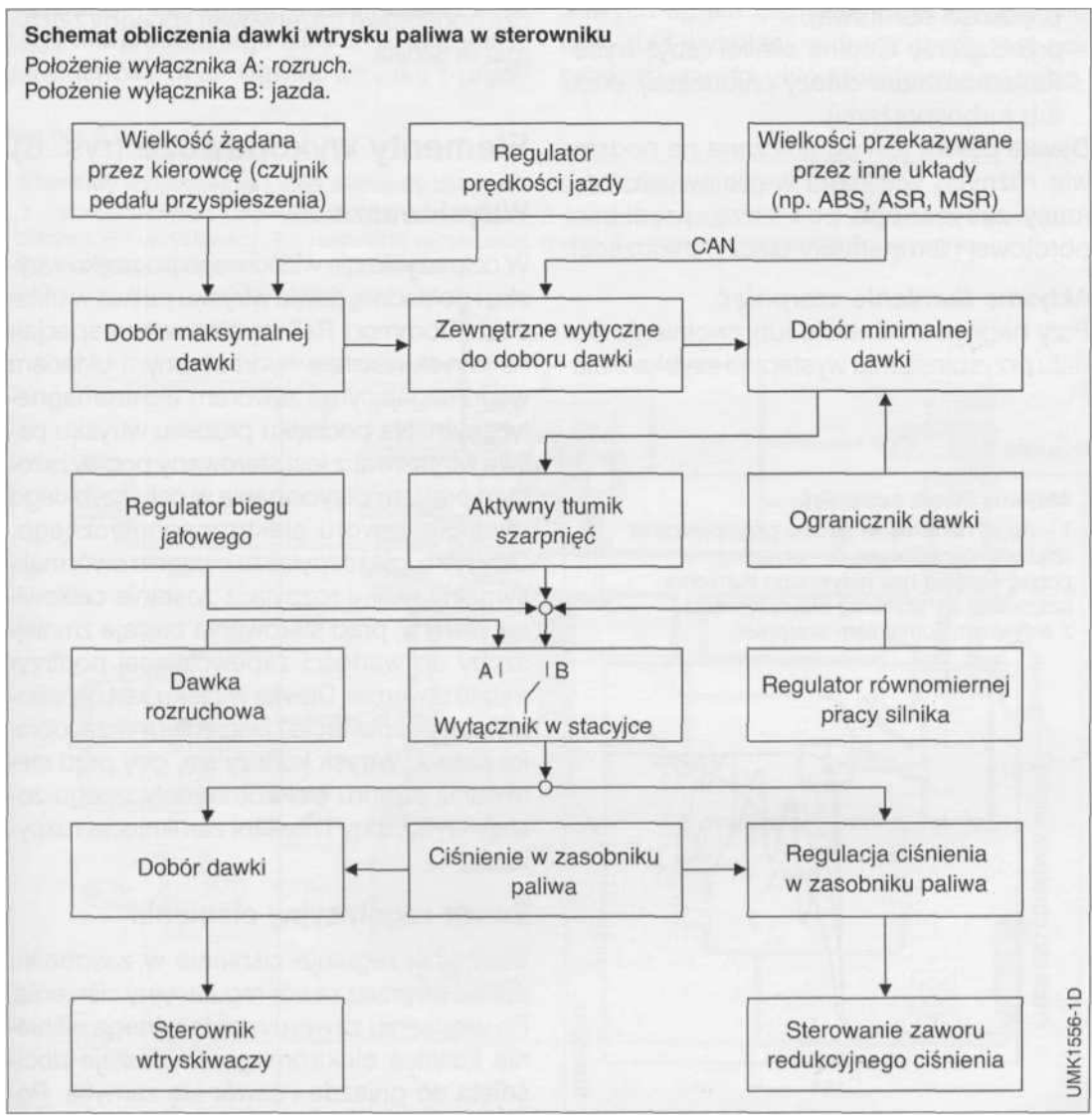
cieczy chłodzącej). Do zewnętrznych momentów obciążenia silnika dochodzą momenty tarcia, które mogą być zrównoważone dzięki odpowiedniej regulacji biegu jałowego. Zmieniają się one stale, choć w niewielkim zakresie podczas eksploatacji silnika, a ponadto w znacznej mierze zależą od temperatury.

Regulacja równomiernej pracy silnika
 Z powodu różnych tolerancji mechanicznych oraz starzenia się nie wszystkie cylindry silnika wytwarzają ten sam moment obrotowy. Powoduje to, szczególnie na biegu jałowym, nierównomierną pracę silnika. Regulator równomiernej pracy silnika określa zmiany prędkości obrotowej silnika po każdym procesie spalania i porównuje je wzajemnie. Dawka wtrysku dla każdego cylin-

dra jest następnie ustawiana na podstawie różnic prędkości obrotowej w taki sposób, że wszystkie cylindry mają ten sam udział w wytwarzaniu momentu obrotowego. Regulator równomiernej pracy silnika jest aktywny tylko w dolnym zakresie prędkości obrotowej.

Regulacja prędkości jazdy
 Za jazdę ze stałą prędkością odpowiada regulator prędkości jazdy (tzw. tempomat). Dostosowuje on prędkość pojazdu do wartości wybranej przez kierującego. Dawka wtrysku paliwa będzie zwiększana lub zmniejszana przez regulator tak długo, aż zmierzona prędkość rzeczywista będzie odpowiadała nastawionej żądanej prędkości jazdy. Jeśli przy włączonym regulatorze prędkości jazdy kierowca naciśnie pedał

Rysunek 6



UMK1556-1D

sprzęgła lub hamulca, proces regulacji zostanie wyłączony. Poprzez naciśnięcie pedału przyspieszenia można przyspieszyć ponad chwilową prędkość znamionową. Gdy pedał przyspieszenia zostanie ponownie zwolniony, wówczas regulator prędkości jazdy spowoduje powrót do ostatnio zadanej prędkości. Również przy wyłączonym regulatorze prędkości jazdy za pomocą przycisku ponownego wywołania można powtórnie ustalić poprzednią prędkość.

Regulacja ogranicznika dawki

Żądana przez kierującego lub fizycznie możliwa dawka paliwa nie zawsze może być wtrysnięta z powodów takich, jak:

- za wysoka szkodliwość emisji spalin,
- za wysoka emisja sadzy (zbyt duża dawka paliwa),
- przeciążenie mechaniczne silnika (zbyt duży moment obrotowy albo za duża prędkość obrotowa),
- przeciążenie cieplne silnika (zbyt wysoka temperatura cieczy chłodzącej, oleju lub turbosprężarki).

Dawka paliwa jest ograniczana na podstawie różnych wielkości wejściowych, np.: masy zasysanego powietrza, prędkości obrotowej i temperatury cieczy chłodzącej.

Aktywne tłumienie szarpnięć

Przy nagłym wciśnięciu lub zwolnieniu pedału przyspieszenia występuje szybka zmia-

na dawki wtrysku paliwa i tym samym momentu obrotowego silnika. Wskutek tej nagłej zmiany obciążenia w elastycznym zawieszeniu silnika i układzie napędowym powstają drgania, których skutkiem są wahania prędkości obrotowej silnika (rys. 7). Aktywny tłumik szarpnięć zmniejsza te okresowe wahania prędkości obrotowej, zmieniając dawkę wtrysku paliwa z tym samym okresem wahań: przy wzroście prędkości obrotowej wtryskuje się mniej, zaś przy jej zmniejszeniu - więcej paliwa. Wskutek tego wahania prędkości obrotowej silnika są intensywnie tłumione.

Zatrzymanie silnika

Silnik wysokoprężny może być zatrzymany tylko w wyniku przerwania dopływu paliwa. W układzie elektronicznej regulacji silnik jest zatrzymywany dyspozycją sterownika: „dawka wtrysku zero”. Oprócz tego istnieją jeszcze dodatkowe (rezerwowe) sposoby zatrzymania silnika.

Elementy wykonawcze (rys. 8)

Wtryskiwacze

W celu uzyskania właściwego początku wtrysku i dokładnej dawki wtrysku paliwa w układach Common Rail są stosowane specjalne wtryskiwacze z hydraulicznym układem wspomagającym i zaworem elektromagnetycznym. Na początku procesu wtrysku paliwa wtryskiwacz jest sterowany podwyższonym prądem przyciągania w celu szybkiego otwarcia zaworu elektromagnetycznego. Gdy tylko igła rozpylacza osiągnie swój maksymalny skok i rozpylacz zostanie całkowicie otwarty, prąd sterowania zostaje zmniejszony do wartości zapewniającej podtrzymanie otwarcia. Dawka wtrysku jest określona czasem otwarcia i ciśnieniem w zasobniku paliwa. Wtrysk kończy się, gdy prąd sterowania zaworu elektromagnetycznego zostaje wyłączony i nastąpi zamknięcie rozpylacza.

Zawór regulacyjny ciśnienia

Sterownik reguluje ciśnienie w zasobniku paliwa poprzez zawór regulacyjny ciśnienia. Po włączeniu zaworu regulacyjnego ciśnienia kotwica elektromagnesu zostaje dociśnięta do gniazda i zawór się zamyka. Po-

Rysunek 7



łączenie między obwodem wysokiego i niskiego ciśnienia zostaje odcięte i ciśnienie w zasobniku wzrasta. Elektromagnes zaworu bez doprowadzonego napięcia nie wywiera żadnej siły na kotwicę. Zawór regulacyjny ciśnienia może się otworzyć i część paliwa z zasobnika odpływa z powrotem do zbiornika paliwa przez przewód zbiorczy. Ciśnienie w zasobniku spada. Zmiana prądu sterującego (modulacja długości impulsu) umożliwi zmianę ciśnienia paliwa poprzez zmianę czasu otwarcia zaworu regulacyjnego ciśnienia.

Sterownik świc żarowych

Za właściwy zimny rozruch oraz poprawę istotnej dla składu emitowanych spalin fazy podgrzewania silnika odpowiada sterownik świc żarowych. Czas podgrzewania wstępnego zależy od temperatury cieczy chłodzącej. Dalsze fazy podgrzewania uruchamiającego lub pracującego silnika określa wiele parametrów, m.in. dawka wtrysku i prę-

kość obrotowa. Sterowanie czasem grzania świc żarowych odbywa się za pośrednictwem przekaźnika mocy.

Przetworniki elektropneumatyczne

Zawory i przepustnice nastawników ciśnienia doładowania, zawirowania i recyrkulacji spalin są uruchamiane mechanicznie za pomocą podciśnienia lub nadciśnienia. W tym celu sterownik silnika wysyła sygnał elektryczny, który przez przetwornik elektropneumatyczny jest przetwarzany w nadciśnienie lub podciśnienie.

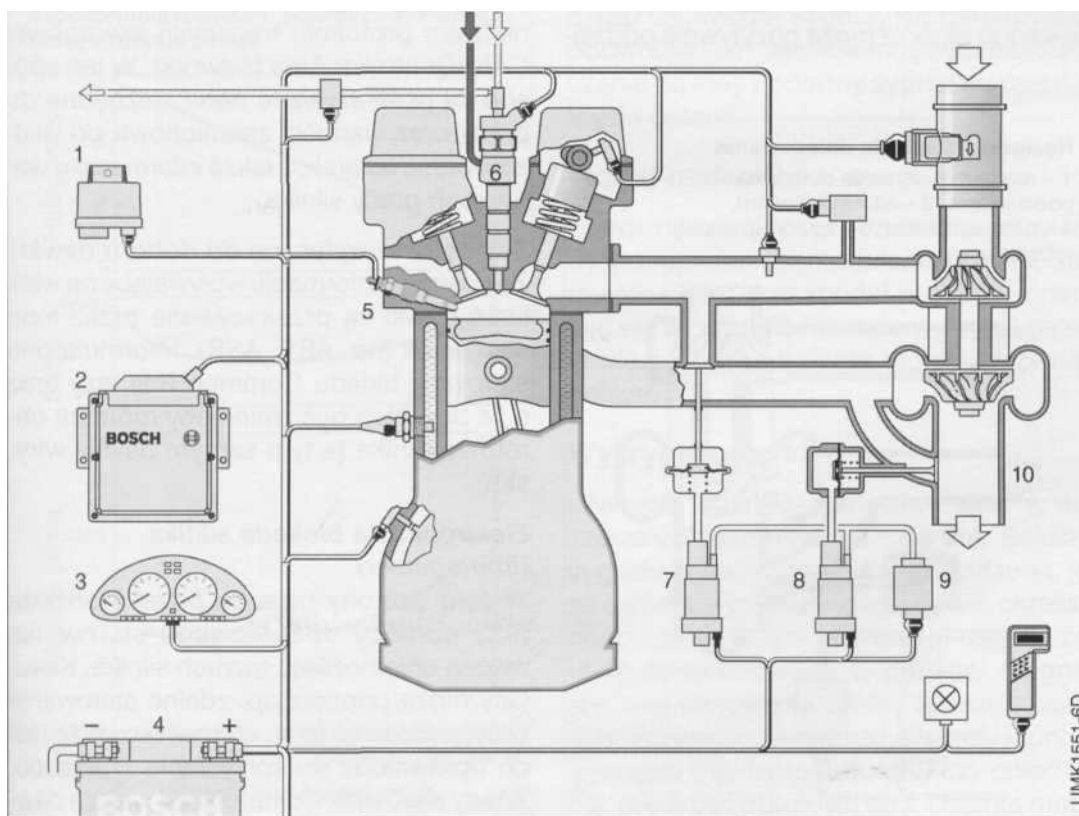
Nastawnik ciśnienia doładowania

Turbodoładowane silniki samochodów osobowych powinny uzyskiwać duży moment obrotowy już przy małych prędkościach obrotowych. Dlatego obudowę turbiny skonstruowano dla małego wydatku masowego spalin. Aby przy większych wydatkach masowych spalin ciśnienie doładowania nie było zbyt wysokie, nadmiar spalin jest odprowadzany do układu wylotowego z po-

Rysunek 8

Elementy wykonawcze i inne elementy składowe układu Common Rail

1 - sterownik świc żarowych, 2 - sterownik silnika, 3 - zestaw wskaźników, 4 - akumulator, 5 - świeca żarowa, 6 - wtryskiwacz, 7 - nastawnik recyrkulacji spalin, 8 - nastawnik ciśnienia doładowania, 9 - pompa podciśnienia, 10 - turbosprężarka



minięciem turbiny poprzez zawór upustowy (obejściowy). Nastawnik ciśnienia doładowania (rys. 9) zmienia w tym celu przekrój zaworu upustowego w zależności od prędkości obrotowej silnika, dawki wtrysku itp. Zamiast zaworu upustowego może być stosowana turbosprężarka o zmiennej geometrii łopatek turbiny (VTG), w której zmienia się kąt naporu łopatek koła turbiny korygując w ten sposób ciśnienie doładowania.

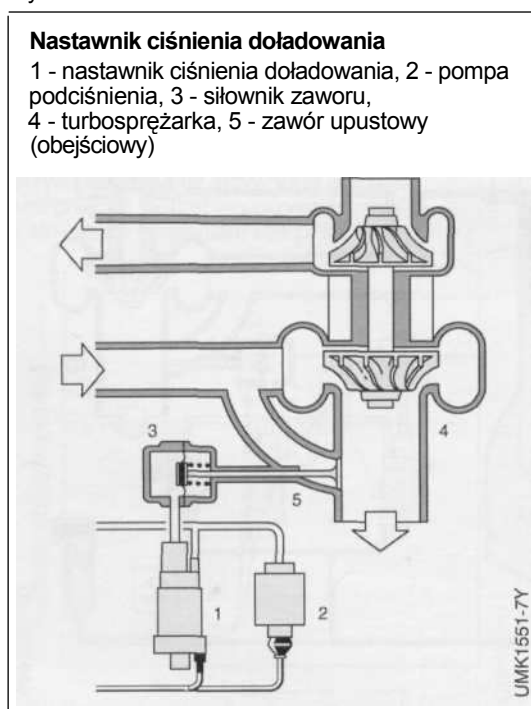
Nastawnik zawirowania

Sterowanie zawirowaniem wpływa na ruch obrotowy zasysanego powietrza. Najczęściej wir jest tworzony w spiralnych kanałach dolotowych w celu właściwego wymieszania paliwa z powietrzem w komorze spalania, co ma duży wpływ na jakość spalania. Z reguły przy małych prędkościach obrotowych wytwarza się silniejszy wir niż przy większych prędkościach. Zawirowanie można zmieniać za pomocą nastawnika zawirowania (przepustnicy lub zasowy) umieszczonego w pobliżu zaworu dolotowego.

Nastawnik recyrkulacji spalin

Przy recyrkulacji (wtórnym obiegu) część spalin jest kierowana do układu dolotowego. Zwiększony udział resztek spalin do pewnego stopnia może pozytywnie oddzia-

Rysunek 9



ływać na przetwarzanie energii i tym samym zmniejszyć emisję szkodliwych składników spalin. W zależności od stanu pracy silnika zasysana masa powietrza i spalin może zawierać do 40% spalin (rys. 10 i 11). W celu regulacji stopnia recyrkulacji spalin sterownik silnika mierzy rzeczywistą masę świeżego powietrza i porównuje ją z wartością zadaną. Wytworzony przez układ recyrkulacji sygnał otwiera nastawnik recyrkulacji spalin (zawór) umożliwiając przepływ spalin do układu dolotowego.

Regulacja przepustnicy

Przepustnica w silniku wysokoprężnym spełnia zupełnie inną funkcję niż w silniku benzynowym. Służy ona do zwiększenia stopnia recyrkulacji spalin w wyniku zmniejszenia nadciśnienia w kolektorze dolotowym. Regulacja przepustnicy ma miejsce tylko w dolnym zakresie prędkości obrotowej silnika.

Wymiana informacji

Komunikacja między sterownikami

Komunikacja między sterownikiem silnika wyposażonego w układ Common Rail i innymi sterownikami odbywa się za pośrednictwem protokołu transmisji szeregowej CAN (Controller Area Network). W ten sposób są przekazywane dane niezbędne do pracy oraz wartości znamionowe do nadzorowania usterek, a także informacje o warunkach pracy silnika.

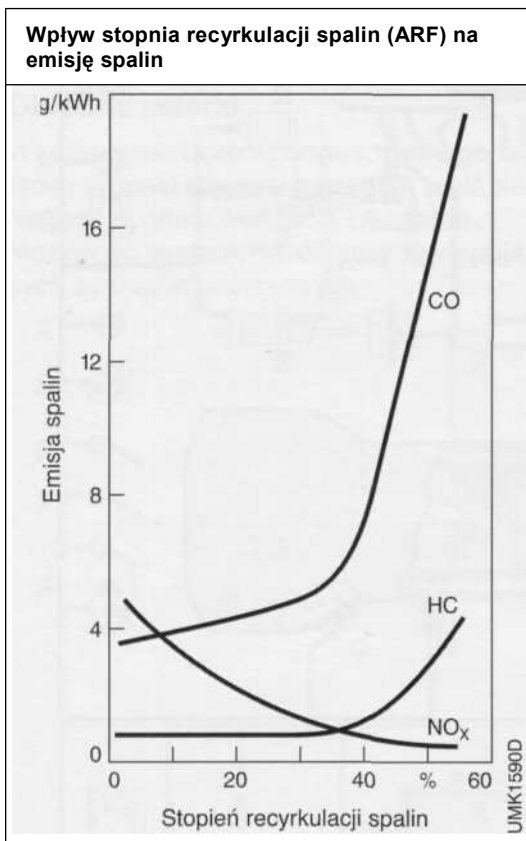
Zewnętrzne wytyczne do doboru dawki

Zewnętrzne informacje wpływające na wielkość dawki są przekazywane przez inne sterowniki (np. ABS, ASR). Informują one sterownik układu Common Rail, czy oraz o ile powinien być zmieniony moment obrotowy silnika (a tym samym dawka wtrysku).

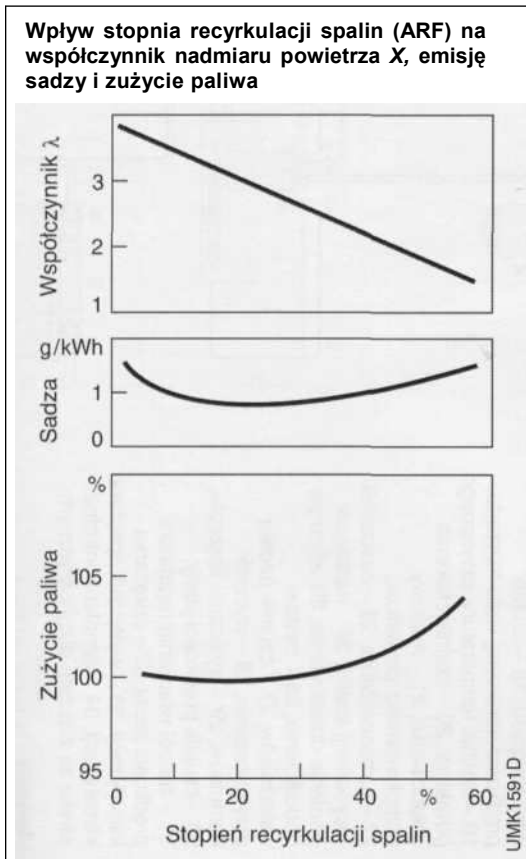
Elektroniczna blokada silnika (immobilizer)

W celu ochrony pojazdu przed kradzieżą przy pomocy dodatkowego sterownika można uniemożliwić rozruch silnika. Kierujący może poprzez np. zdalne sterowanie zasygnalizować temu sterownikowi, że jest on uprawniony do korzystania z pojazdu. Wtedy sterownik Common Rail włącza daw-

Rysunek 10



Rysunek 11



kowanie paliwa umożliwiające uruchomienie silnika i jazdę.

Klimatyzacja

W celu polepszenia komfortu jazdy można utrzymywać przyjemną temperaturę wewnątrz pojazdu przy wysokich temperaturach otoczenia dzięki klimatyzacji schładzającej powietrze za pomocą sprężania czynnika chłodniczego. Zapotrzebowanie mocy sprężarki klimatyzacji, w zależności od silnika i warunków jazdy, może wynosić 1...30% mocy silnika. W związku z tym celem regulacji staje się optymalne wykorzystanie momentu obrotowego silnika. W sytuacji, gdy kierowca będzie chciał nagle przyspieszyć i żądany będzie maksymalny moment obrotowy, układ sterowania EDC krótkotrwale wyłączy sprężarkę klimatyzacji.

Zintegrowana diagnostyka

Nadzór czujników

Nadzór czujników za pomocą zintegrowanej diagnostyki polega na sprawdzaniu, czy czujniki są właściwie zasilane oraz czy ich sygnał mieści się w dopuszczalnym zakresie (np. temperatura między -40°C a 150°C). Ważne sygnały są generowane podwójnie, tzn. istnieje możliwość przełączenia na inny podobny sygnał w razie wykrycia usterki.

Moduł nadzoru

Sterownik silnika oprócz mikrokontrolera dysponuje również modułem nadzoru. Sterownik silnika oraz moduł nadzoru kontrolują się wzajemnie i w razie wykrycia usterki niezależnie od siebie mogą zatrzymać pojazd.

Wykrycie usterki

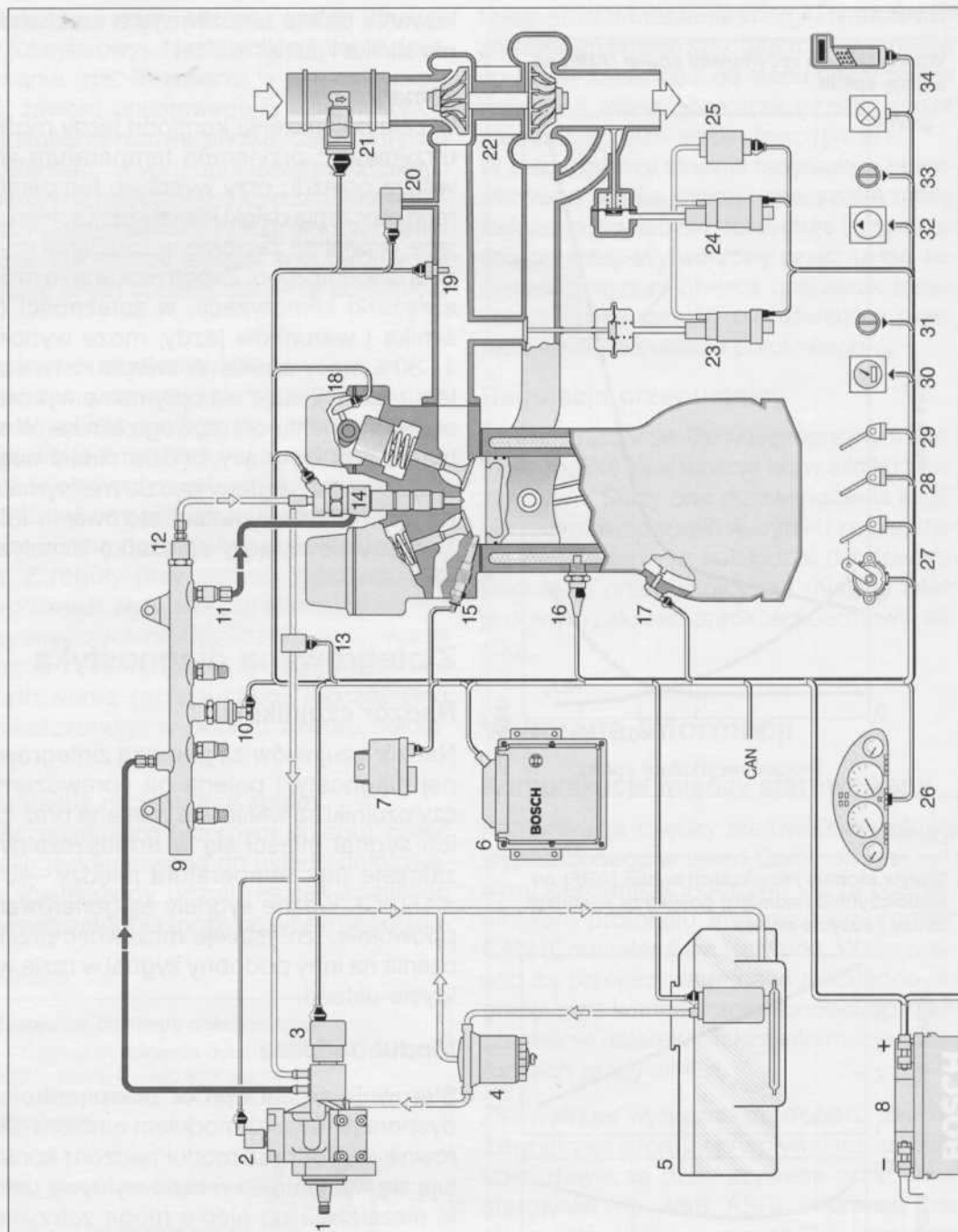
Wykrycie usterki jest możliwe tylko w obszarze zakresu nadzoru czujnika. Ścieżka sygnału zostaje uznana za uszkodzoną, jeśli usterka wystąpi w ciągu ściśle określonego czasu. W tym przypadku usterka zostaje zarejestrowana w pamięci diagnostycznej sterownika silnika łącznie z zapisem warunków zewnętrznych, przy których wystąpiła (np. temperatura cieczy chłodzącej, prędkość obrotowa itp.). Usterka może

Sterowanie elektroniczne EDC

Rysunek 12

Schemat układu zasilania paliwem Common Rail

- 1 – pompa wysokiego ciśnienia,
- 2 – zawór elektromagnetyczny wyłączania sekcji tłoczącej,
- 3 – zawór regulacyjny ciśnienia,
- 4 – filtr paliwa, 5 – zbiornik paliwa z filtrem wstępnego oczyszczania i pompą zasilającą, 6 – sterownik silnika, 7 – sterownik świeceł żarowych, 8 – akumulator,
- 9 – zasobnik paliwa wysokiego ciśnienia, 10 – czujnik ciśnienia w zasobniku, 11 – ogranicznik przepływu, 12 – zawór redukcyjny ciśnienia, 13 – czujnik temperatury paliwa, 14 – wtyskiwacz, 15 – świeca żarowa, 16 – czujnik temperatury cieczy chłodzącej, 17 – czujnik prędkości obrotowej wału rozrządu, 18 – czujnik prędkości obrotowej wału rozrządu, 19 – czujnik temperatury zasysanego powietrza, 20 – czujnik ciśnienia doładowania, 21 – masowy przepływomierz powietrza, 22 – turbosprężarka, 23 – nastawnik recyrkulacji spalin, 24 – nastawnik ciśnienia doładowania, 25 – pompa podciśnienia, 26 – zestaw wskaźników, 27 – czujnik pedału przyspieszenia, 28 – styczniki hamulców, 29 – wyłącznik sprzęgła, 30 – czujnik prędkości jazdy, 31 – zespół włączania regulatora prędkości jazdy, 32 – sprężarka klimatyzacji, 33 – wyłącznik sprężarki klimatyzacji, 34 – lampka kontrolna silnika ze złączem diagnostycznym



UMK1551Y

zostać uznana za chwilową, jeżeli ścieżka sygnału w ciągu określonego czasu zostanie rozpoznana jako nie uszkodzona.

Obróbka usterki

W razie przekroczenia dopuszczalnego zakresu sygnału czujnika następuje zastąpienie jego sygnału wartością zastępczą.

Możliwość zastąpienia dotyczy następujących sygnałów wejściowych:

- napięcia akumulatora,
- temperatury cieczy chłodzącej, powietrza i oleju,
- ciśnienia doładowania,
- ciśnienia atmosferycznego,
- ilości powietrza.

Ponadto w razie zakłóceń sygnału czujnika pedału przyspieszenia i stycznika układu hamulcowego wykorzystuje się wartość zastępczą czujnika pedału przyspieszenia.

*Sterowanie
elektroniczne
EDC*

Elektroniczny układ sterowania EDC

Wymagania

Zmniejszenie zużycia paliwa przy równoczesnym zwiększeniu mocy lub momentu obrotowego silnika jest istotnym warunkiem determinującym rozwój silników wysokoprężnych. Z tego powodu w ostatnich latach silniki wysokoprężne o wtrysku bezpośrednim (DI), w których ciśnienia wtrysku są znacznie wyższe niż w silnikach o wtrysku pośrednim, znajdują szersze zastosowanie. Ze względu na lepsze tworzenie mieszanki oraz brak strat przepływu między komorą wstępną lub komorą wirową i główną komorą spalania zużycie paliwa w silnikach o wtrysku bezpośrednim jest mniejsze o 10...15% w porównaniu z silnikami o wtrysku pośrednim (IDI).

Nowoczesne silniki muszą spełniać coraz surowsze reżimy odnośnie ograniczenia emisji szkodliwych składników spalin oraz hałasu.

Oznacza to większe wymagania dotyczące układu wtryskowego i jego regulacji, w tym m.in.:

- wysokiego ciśnienia wtrysku,
- kształtowania przebiegu wtrysku,
- zmiennego początku wtrysku,
- zmiennego wyprzedzenia wtrysku,
- dostosowania dawki wtrysku, ciśnienia doładowania i początku wtrysku do każdego stanu pracy silnika,
- dostosowanej do temperatury dawki rozruchowej,
- niezależnej od obciążenia regulacji prędkości obrotowej biegu jałowego,
- regulacji prędkości jazdy,
- regulowanej recyrkulacji spalin,
- zachowania małych tolerancji i dużej dokładności części użytkowanego silnika.

Mechaniczna regulacja prędkości obrotowej dotyczy wszystkich stanów pracy silnika oraz zapewnia wysoką jakość przygotowania mieszanki, ze względu jednak na prosty układ regulacji w silniku nie może uwzględnić czynników dodatkowych wpływających na pracę silnika oraz szybkozmiennych charakterystyk regulacji.

Przegląd

Nowoczesny elektroniczny układ sterowania EDC (Electronic Diesel Control) dzięki zwiększonej w ostatnich latach mocy obliczeniowej mikroprocesorów jest w stanie spełnić wysokie wymagania stawiane współczesnym układom wtryskowym. W przeciwieństwie do pojazdów z silnikami wysokoprężnymi wyposażonymi w konwencjonalne rzędowe lub rozdzielaczowe pompy wtryskowe, w układzie EDC kierujący nie ma bezpośredniego wpływu na dawkę wtrysku paliwa, np. poprzez naciskanie pedału przyspieszenia współpracującego z pompą za pośrednictwem układu cięgowego. Właściwą dawkę wtrysku układ oblicza na podstawie uzyskanych informacji, np. o stanie pracy silnika, decyzji kierującego, emisji spalin itd. Realizowana przez układ koncepcja bezpieczeństwa polega na rozpoznaniu występujących błędów i wprowadzeniu odpowiednich korekt (np. ograniczenie momentu obrotowego lub pracy w trybie awaryjnym w zakresie prędkości obrotowej biegu jałowego). Elektroniczny układ sterowania silnika umożliwia również wymianę danych z innymi układami elektronicznymi pojazdu (np. z układem ASR i układem elektronicznego sterowania skrzynki przekładniowej) w celu zwiększenia komfortu i bezpieczeństwa jazdy.

Przetwarzanie danych układu EDC

Sygnaly wejściowe

Czujniki oraz nastawniki są urządzeniami zewnętrznymi w stosunku do sterownika cyfrowego stanowiącego jednostkę przetwarzania danych.

Sygnaly czujników są doprowadzane do sterownika (jednego lub kilku) przez obwody ochronne oraz przetworniki sygnału i wzmacniacze (rys. 1) jako:

- analogowe sygnaly wejściowe (np. informacje czujników analogowych dotyczące ilości zasysanego powietrza, ciśnienia, temperatury silnika, temperatury zasysanego powietrza, napięcia akumulatora itd.); są one przetwarzane w mi-

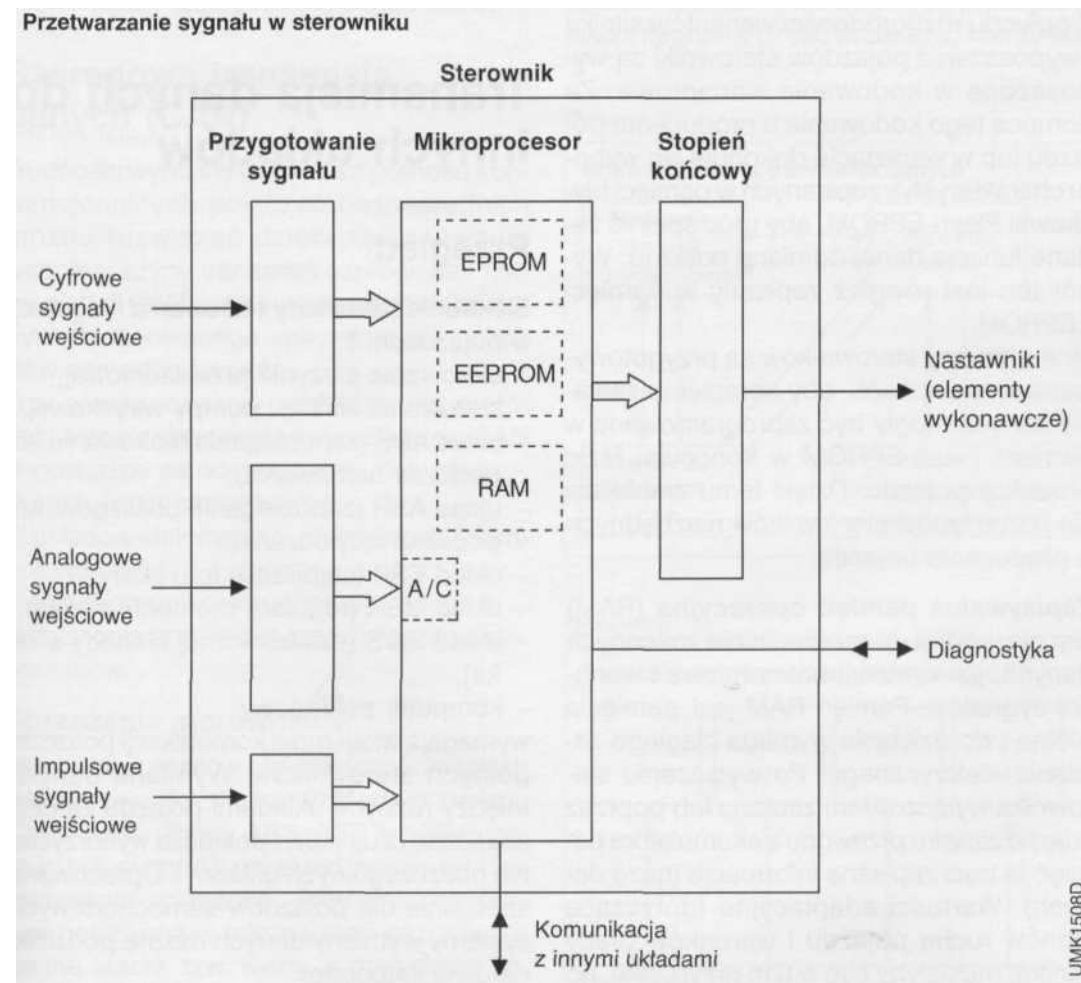
kroprocesorze sterownika na wartości cyfrowe przez przetwornik analogowo-cyfrowy (A/C);

- cyfrowe sygnaly wejściowe (np. sygnaly przełączeń: włączone-wyłączone lub cyfrowe sygnaly czujników, jak np. impulsy prędkości obrotowej czujnika Halla), które mogą być przetwarzane bezpośrednio przez mikroprocesor;
- impulsowe sygnaly wejściowe czujników indukcyjnych z informacjami o prędkości obrotowej lub położeniach odniesienia, które są przygotowywane w części obwodu elektrycznego sterownika w celu usunięcia zakłóceń oraz przetwarzane w sygnal prostokątny.

W zależności od stopnia zintegrowania przygotowanie sygnału może odbywać się częściowo lub całkowicie już w czujniku. Warunki panujące w miejscu usytuowania czujnika rzutują na jego obciążenie.

Wymagania, przegląd, przetwarzanie danych

Rysunek 1



Przygotowanie sygnału

Sygnały wejściowe są ograniczane w obwodach ochronnych do dopuszczalnego poziomu napięcia. Sygnał użyteczny jest uwalniany od zakłóceń dzięki jego odfiltrowaniu i po wzmocnieniu jest on dopasowywany do napięcia wejściowego sterownika.

Przetwarzanie sygnału w sterowniku

Mikroprocesory w sterowniku przetwarzają sygnały wejściowe najczęściej cyfrowo na podstawie programu zapisanego w stałej pamięci (ROM lub Flash-EPROM). Dodatkowo w pamięci Flash-EPROM są zapisane specyficzne charakterystyki do sterowania silnika. Dane dla elektronicznej blokady silnika (immobilizera), dane korekcyjne i wykonawcze oraz ewentualne błędy wykryte podczas pracy są zapisane w **programowalnej elektrycznie stałej pamięci do zapisu i odczytu** (EEPROM). Z powodu różnorodności wariantów silnika i wyposażenia pojazdów sterowniki są wyposażone w kodowanie wariantowe. Za pomocą tego kodowania u producenta pojazdu lub w warsztacie dokonuje się wyboru charakterystyk zapisanych w pamięci błyskowej Flash-EPROM, aby móc spełnić żądane funkcje danej odmiany pojazdu. Wybór ten jest również zapisany w pamięci EEPROM.

Inne odmiany sterowników są przygotowywane w ten sposób, aby kompletne zestawy danych mogły być zaprogramowane w pamięci Flash-EPROM w końcowej fazie produkcji pojazdu. Dzięki temu zmniejsza się liczbę typów sterowników niezbędnych u producenta pojazdu.

Zapisywalna pamięć operacyjna (RAM) jest niezbędna do gromadzenia zmiennych danych, jak wartości obliczeniowe i wartości sygnałów. Pamięć RAM jest pamięcią ulotną i do działania wymaga ciągłego zasilania elektrycznego. Po wyłączeniu sterownika wyłącznikiem zapłonu lub poprzez zdjęcie zacisku przewodu z akumulatora pamięć ta traci zapisane informacje (bazę danych). Wartości adaptacyjne (dotyczące stanów ruchu pojazdu i warunków pracy silnika) musiałyby być w tym przypadku, po

ponownym włączeniu sterownika, zakodowane na nowo. Dlatego wartości adaptacyjne wymagane do prawidłowej pracy są zapisane w pamięci EEPROM zamiast w pamięci RAM.

Sygnały wyjściowe

Sygnały wyjściowe mikroprocesorów są wzmacniane w stopniach końcowych, które zwykle mają dostateczną moc do bezpośredniego podłączenia nastawników. Sposób sterowania specjalnymi nastawnikami jest opisany w instrukcji konkretnego układu sterowania. Stopnie końcowe są zabezpieczone przed zwarcie do masy, przed napięciem akumulatora oraz przed zniszczeniem wskutek przeciążenia elektrycznego. Występowanie tego rodzaju usterek oraz odłączonych przewodów jest rozpoznawane przez stopnie końcowe i przekazywane do sterownika silnika. Niektóre sygnały wejściowe sterownika są również przekazywane do innych układów.

Transmisja danych do innych układów

Przegląd

Elektroniczne układy sterowania i regulacji w pojazdach, t.j.:

- sterowanie skrzynki przekładniowej,
- sterowanie silnika i pompy wtryskowej,
- układ ABS (zapobiegania blokowaniu kół podczas hamowania),
- układ ASR (zapobiegania poślizgowi kół podczas rozpędzania),
- układ ESP (stabilizacji toru jazdy),
- układ MSR (regulacji momentu silnika),
- układ EWS (elektronicznej blokady silnika),
- komputer pokładowy

wymagają wzajemnej komunikacji poszczególnych sterowników. Wymiana danych między różnymi układami pojazdu zmniejsza liczbę czujników i polepsza wykorzystanie poszczególnych układów. Opracowane specjalnie dla pojazdów samochodowych systemy wymiany danych można podzielić na dwie kategorie:

- konwencjonalna transmisja danych,
- szeregowa transmisja danych, np. Controller Area Network (CAN).

Konwencjonalna transmisja danych

Konwencjonalna transmisja danych w pojeździe samochodowym charakteryzuje się tym, że każdemu sygnałowi przyporządkowano pojedynczy przewód (rys. 2). Sygnały cyfrowe mogą być przesyłane z wykorzystaniem dwóch stanów „1” lub „0” (kod binarny), np. sprężarka klimatyzacji „włączona” lub „wyłączona”. Sygnały analogowe mogą być transmitowane przez układy odwzorowania impulsów, jak np. czujnika położenia pedału przyspieszenia. Rosnącej wymianie danych między sterownikami elektronicznymi w pojeździe samochodowym nie mogą już sprostać konwencjonalne instalacje elektryczne. Konstrukcja wiązek przewodów wymaga dużych nakładów, a wymagania dotyczące wymiany danych między sterownikami ciągle rosną.

Szeregowa transmisja danych (CAN)

Trudności wymiany danych za pomocą konwencjonalnych połączeń bezpośrednich można rozwiązać dzięki zastosowaniu wspólnej szyny transmisji szeregowej, tzw. magistrali CAN, czyli systemu transmisji danych opracowanego specjalnie dla pojazdów samochodowych. Trzy główne obszary zastosowania protokołu transmisji szeregowej standardu CAN w pojeździe samochodowym dotyczą:

- sprzężenia sterowników,
- układów elektronicznych nadwozia i komfortu jazdy,
- radiokomunikacji ruchomej.

Dalszy opis będzie dotyczył sprzężenia sterowników.

Sprzężenie sterowników

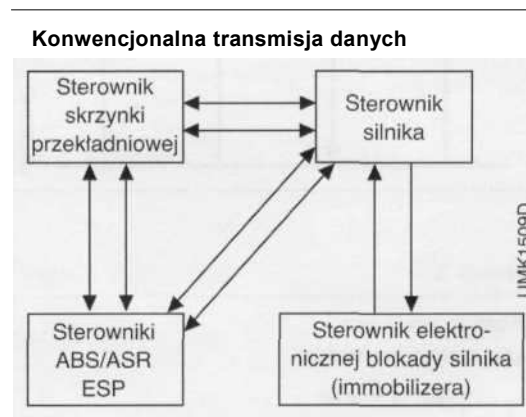
Sterowniki układów elektronicznych, takich jak sterowanie silnika względnie pompy wtryskowej, układy ABS, ASR lub ESP sterowania skrzynki przekładniowej itd., są wzajemnie sprzężone. Sterowniki są przy tym połączone w lokalną sieć jako równoważne stacje, tzw. węzły, z magistralą da-

nych (rys. 3). Taka otwarta struktura szeregową ma tę zaletę, że przy uszkodzeniu jednego z węzłów system nadal jest w pełni dostępny dla wszystkich pozostałych węzłów, a ponadto istnieje możliwość łatwej rozbudowy o nowe węzły. W porównaniu z innymi konfiguracjami logicznymi (jak struktury pierścieniowe i gwiazdowe) prawdopodobieństwo całkowitej awarii jest znacznie mniejsze. W strukturach pierścieniowych lub gwiazdowych awaria jednej części składowej układu, względnie jednostki centralnej, prowadzi do awarii całkowitej. W sieci CAN typowe szybkości transmisji wynoszą od ok. 125 kb/s do 1 Mb/s (np. komunikacja sterownika silnika i sterownika promieniowej rozdzielaczowej pompy wtryskowej odbywa się z szybkością 500 kb/s). Szybkość transmisji musi być tak duża, aby zapewnić sterowanie w czasie rzeczywistym.

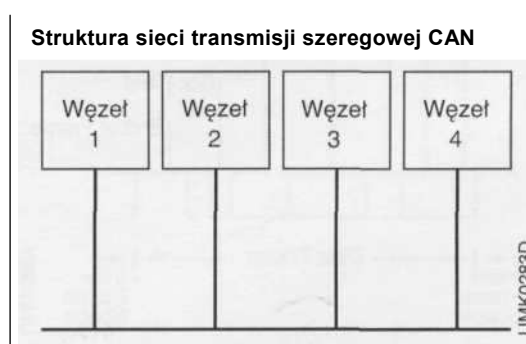
Adresowanie

W standardzie CAN adresy odbiorników, nazywane też identyfikatorami, są przesyłane jako integralna część przekazu. Identyfika-

Rysunek 2

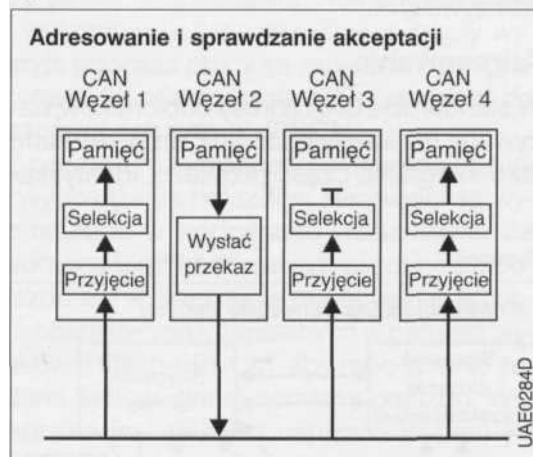


Rysunek 3

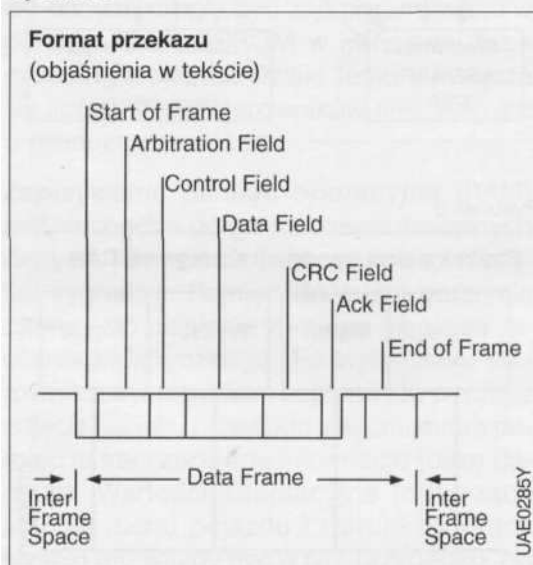


tory mogą być 11-bitowe lub 29-bitowe. Identyfikator umożliwia rozpoznanie treści przekazu (np. prędkość obrotowa silnika). Węzeł (odbiorca) przetwarza tylko te dane, których identyfikator znajduje się na liście przyjmowalnych przez ten węzeł przekazów (sprawdzenie akceptacji, rys. 4). Wszystkie inne dane są ignorowane przez ten węzeł. Ten sposób adresowania umożliwia wysyłanie sygnałów do wielu węzłów, przy czym czujniki wysyłają swoje sygnały do magistrali bezpośrednio lub za pośrednictwem sterownika, a dopiero tam zostaje on rozdzielony. W ten sposób łatwo można zrealizować wiele wariantów wyposażenia, ponieważ np. dalsze węzły mogą być dołączone do już istniejącego systemu CAN (struktura otwarta).

Rysunek 4



Rysunek 5



Określanie priorytetu

Wartość liczbowa identyfikatora określa priorytet (prawo pierwszeństwa) przekazu do transmisji. Sygnał zmieniający się bardzo szybko (np. prędkość obrotowa silnika) musi być również bardzo szybko przekazany i dlatego otrzymuje wyższy priorytet niż sygnał zmieniający się względnie wolno (np. temperatura silnika).

Arbitraż magistrali

W sieci CAN obowiązuje zasada, że w danej chwili może być aktywnych wiele odbiorców, lecz tylko jeden nadajnik. Jeśli magistrala CAN jest wolna, to każdy węzeł może rozpocząć transmisję danych. Jeżeli wiele nadajników zacznie wysyłać informacje równocześnie, wówczas działa mechanizm arbitrażu. Jako pierwsza następuje transmisja danych o najwyższym priorytecie, bez straty czasu i bitów. Nadajniki przekazów o niższym priorytecie wysyłają je automatycznie do odbiorców ponawiając próby tak długo, aż magistrala będzie ponownie wolna.

Format przekazu

W celu transmisji danych na szynę węzeł generuje sekwencję przekazu z ramką danych (*Data Frame*), której długość wynosi maksymalnie 130 bitów (format standardowy) lub 150 bitów (format powiększony). Dzięki temu zapewniono, że czas oczekiwania do następnej bardzo pilnej transmisji jest bardzo krótki. Sekwencja danych zawiera siedem kolejno po sobie następujących pól (rys. 5):

- „**Start of Frame**” - 1-bitowy znacznik początku przekazu, który służy do synchronizacji wszystkich węzłów sieci CAN;
- „**Arbitration Field**” - pole arbitrażu, składowane z identyfikatora przekazu oraz dodatkowego bitu kontrolnego. Podczas transmisji identyfikatora przekazu nadajnik sprawdza przy każdym bicie, czy jest on jeszcze uprawniony do wysłania lub czy inny węzeł nie wysłał z wyższym priorytetem. Natomiast bit kontrolny jest używany dla rozróżnienia między sekwencją danych (*Data Frame*) a sekwencją żądania przekazu danych (*Remote Frame*);
- „**Control Field**” - pole sterujące, zawierające kod informujący o ilości bitów danych pola danych;

- „**Data Field**” - pole danych, zawierające treść informacji od 0 do 8 bajtów. Przekaz o długości 0 daje się zastosować dla synchronizacji rozdzielonych procesów;
- „**CRC Field**”- kod kontroli błędów do rozpoznania występujących zakłóceń transmisji;
- „**Ack Field**” - pole potwierdzenia odbioru przekazu, w którym nadajnik wysyła sygnał potwierdzający do wszystkich odbiorców, które przyjęły bezbłędnie przekaz;
- „**End of Frame**” - znacznik końca przekazu, stanowiący ostatni blok przekazu;
- „**Inter Frame Space**” - odstęp między przekazami.

Zintegrowana diagnostyka

System CAN dysponuje wieloma mechanizmami kontrolnymi do rozpoznawania usterek (zakłóceń), do których należy np. kod kontroli błędów oraz monitorowanie, przy którym każdy nadajnik przyjmuje ponownie swój przekaz i może przy tym rozpoznać ewentualne różnice.

Jeśli węzeł wykryje błąd w transmisji, to generuje sekwencję sygnalizacji błędu za-

trzymującą bieżącą transmisję. Pozwala to uniknąć przyjęcia przez inne węzły wadliwego przekazu.

W przypadku uszkodzenia węzła mogłoby jednak dojść do przerwania wszystkich przekazów, w tym także bezbłędnych. Aby uniknąć takich sytuacji w systemie CAN przewidziano możliwość odróżniania zakłóceń przelotnych od zakłóceń trwałych i lokalizacji awarii węzła, dzięki statystycznej ocenie wystąpienia błędów.

Normalizacja

Protokół zarządzania przepływem informacji w magistrali CAN służący do wymiany danych w pojazdach samochodowych został znormalizowany przez międzynarodową organizację ISO:

- magistrale o małej szybkości transmisji (do 125 kb/s)-ISO 11519-2,
- magistrale o dużej szybkości transmisji (ponad 125 kb/s) - ISO 11898.

Inne organizacje (np. amerykańskiego rynku pojazdów użytkowych) oraz producenci pojazdów przyjęli również system CAN.

Układy wspomagania rozruchu

Zimne silniki wysokoprężne uruchamiają się trudniej, ponieważ straty ciśnienia spowodowane przedmuchami oraz straty ciepła przy sprężaniu powodują zmniejszenie ciśnienia i temperatury na końcu suwu sprężania. Dlatego zastosowanie rozwiązań ułatwiających rozruch w tych warunkach jest szczególnie ważne. Graniczna temperatura rozruchu zależy od budowy silnika. Silniki z komorą wstępną i wirową mają umieszczone w komorze sztabkowe świece żarowe spełniające rolę „gorącego punktu”. W małych silnikach o wtrysku bezpośrednim ten „gorący punkt” znajduje się na krańcu komory spalania. Duże silniki o wtrysku bezpośrednim są uruchamiane po wstępnym podgrzaniu powietrza w kolektorze dolotowym (rozruch płomieniowy) lub za pomocą paliwa o dużej zdolności do samozapłonu (startpilot), wtryskiwanego do zasysanego powietrza. Współcześnie przeważają silniki podgrzewane świecami żarowymi.

Świeca żarowa sztabkowa

Sztabka żarzenia świecy żarowej, wprasowana trwale i szczelnie w jej korpus, składa się z odpornej na gorące gazy i sprężanie rurki metalowej z umieszczoną wewnątrz w sprasowanym proszku tlenku magnezu spiralą grzejną (rys. 1).

Spirala składa się z dwóch połączonych szeregowo uzwojeń umieszczonych w rurce: grzejnego i regulacyjnego. Rezystancja uzwojenia grzejnego jest prawie niezależna od temperatury, natomiast uzwojenie regulacyjne charakteryzuje się dodatnim współczynnikiem temperaturowym rezystancji (PTC). Rezystancja świec nowszej generacji (typu GSK2) zwiększa się ze wzrostem temperatury bardziej niż w przypadku zwykłych świec sztabkowych (typu S-RSK). Nowsze świece żarowe GSK szybciej osiągają temperaturę niezbędną do samozapłonu paliwa (850°C w 4 sekundy) oraz mają niższą temperaturę inercji (rys. 2); temperatura świecy jest ograniczona zatem do tej nie krytycznej wartości. Dlatego świeca żarowa może pracować jeszcze do 3 minut po rozruchu silnika. Dzięki temu dogrzewaniu silnik rozgrzewa się krócej i zmniejsza się emisja szkodliwych składników spalin oraz hałas towarzyszący pracy jednostki napędowej.

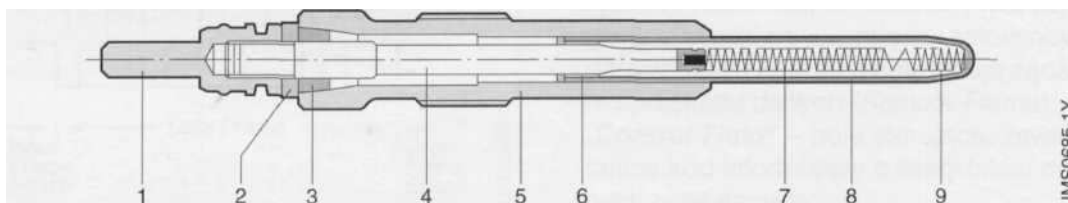
Świeca płomieniowa

Świeca płomieniowa spalając paliwo ogrzewa powietrze zasysane do silnika. Pompa zasilająca układu wtryskowego doprowadza paliwo do świecy płomieniowej poprzez zawór elektromagnetyczny.

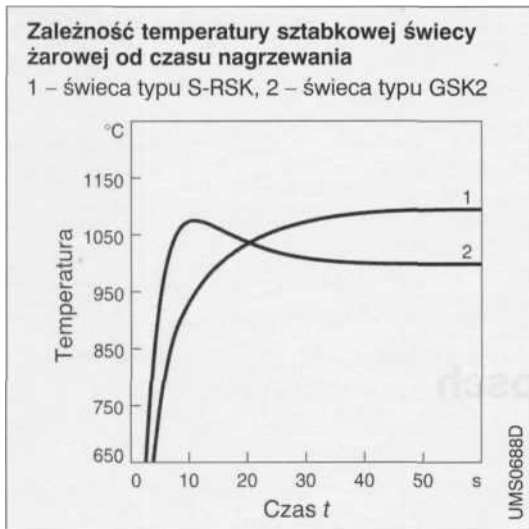
Rysunek 1

Świeca żarowa sztabkowa typu GSK2

1 - złącze, 2 - pierścień izolacyjny, 3 - uszczelka podwójna, 4 - trzpień łączący, 5 - korpus, 6 - uszczelka elementu grzejnego, 7 - uzwojenie grzejne i uzwojenie regulacyjne, 8 - rurka żarowa (osłona spirali), 9 - proszek wypełniający



Rysunek 2



W złączu doprowadzającym paliwo do świecy płomieniowej jest umieszczony filtr i urządzenie dozujące ilość paliwa odpowiednio do danego silnika. Paliwo odparowuje w rurze umieszczonej wokół rury żarowej, a następnie miesza się z powietrzem zasysanym przez silnik. Mieszanka paliwa z powietrzem zostaje zapalona w przedniej części świecy płomieniowej na rurze żarowej osiągającej temperaturę ponad 1000°C.

Sterownik świec żarowych

Sterownik świec żarowych (GZS) składa się z przekaźnika mocy oraz elektronicznego zespołu włączającego. Zadaniem sterownika jest dopasowanie czasu żarzenia świec żarowych stosownie do potrzeb oraz zabezpieczenie i nadzór układu. Niektóre bardziej rozwinięte sterowniki świec żarowych mają możliwość rozpoznawania uszkodzeń poszczególnych świec. Wejścia do sterownika świec żarowych są wykonane jako złącza wtykowe, natomiast przewód doprowadzający prąd do świec żarowych łączy się za pośrednictwem kołków gwintowanych lub wtyków, w celu eliminacji spadków napięcia.

Działanie

Podgrzewanie i rozruch silnika wysokoprężnego są uruchamiane za pośrednictwem wyłącznika zapłonu, podobnie jak w silniku benzynowym. Po przekręceniu kluczyka w stacyjce w położenie włączonego zapłonu rozpoczyna się proces podgrzewania wstępnego. Zgaśnięcie lampki kontrolnej świec żarowych oznacza, że świece żarowe są dostatecznie gorące i można przystąpić do rozruchu silnika. Podczas rozruchu wtrysnięte kropelki paliwa po odparowaniu ulegają samozapłonowi od sprężonego gorącego powietrza, a wydzielone ciepło inicjuje spalanie (rys. 3). Dalsze żarzenie świec po rozruchu przyczynia się do eliminacji dymienia silnika w fazie rozgrzewania oraz zmniejsza hałas towarzyszący pracy zimnego silnika. Jeśli nie dokonuje się rozruchu, wyłącznik bezpieczeństwa świec żarowych chroni akumulator przed rozładowaniem. Dzięki sprzężeniu sterownika świec żarowych ze sterownikiem silnika (układ EDC) zawarte w nim informacje mogą służyć do optymalnego sterowania świec żarowych w różnych stanach pracy silnika. Umożliwia to zmniejszenie wydzielania niebieskiego dymu i obniżenia poziomu hałasu emitowanego przez silnik.

Świeca
 żarowa,
 świeca
 płomieniowa

Rysunek 3

Typowy przebieg żarzenia świec

- 1 - wyłącznik zapłonu (stacyjka), 2 - rozrusznik,
 - 3 - lampka kontrolna świec żarowych,
 - 4 - włącznik obciążenia, 5 - świece żarowe,
 - 6 - samodzielna praca silnika
- t_v - czas wstępnego żarzenia, t_s - czas gotowości do rozruchu, t_N - czas dalszego żarzenia

