ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1989
Seria: TRANSPORT z.9 Nr kol. 952

Aleksander UBYSZ

KIERUNKI ROZWOJU APARATURY WTRYSKOWEJ SILNIKÓW ZS (część II)

Streszczenie. W cz. II artykułu przedstawiono te kierunki rozwoju aparatury wtryskowej, u podstawy których leży wykorzystanie elektronicznych systemów sterowania wtryskiem w silnikach ZS.

Na wstępie przedstawiono podstawowe kryteria oceny parametrów pracy aparatury wtryskowej w świetle stawianych jej obecnie wymagań. Ogólnie opisano problemy związane z zastosowaniem elektronicznych systemów sterowania wtryskiem w dotychczas stosowanych i specjalnie dla tych celów skonstruowanych układów wtryskowych.

Każdy z kierunków rozwoju aparatury wtryskowej jest poparty przykładami rozwiązań, w których poza schematem ideowym systemów sterowania przytoczono parametry pracy układu wtryskowego i osiągnięte zmiany najważniejszych wskaźników eksploatacyjnych silnika. W większości przykładów wymienione są parametry silnika i pojazdu, mające wpływ na ustalane i regulowane przez elektroniczny system sterowania parametry wtrysku paliwa.

Na zakończenie przedstawiono wnioski, jakie się nasuwają autorowi po zapoznaniu się z najnowszymi rozwiązaniami systemów zasilania i elektronicznymi systemami sterowania silników ZS.

Elektronizacja układów wtryskowych silników o zapłonie samoczynnym stworzyła nowe jakościowo systemy regulacji, o parametrach pracy dotychczas nieosiągalnych. Znacznie wzrosła czułość układu, szybkość i precyzja regulacji parametrów wtrysku.

Dzięki wymienionym zaletom elektroniczne systemy sterowania doprowadziły do zmniejszenia zużycia paliwa i obniżenia emisji toksycznych składników w spalinach, a także umożliwiają bieżącą diagnostykę silnika i aparatury wtryskowej. W dużym uproszczeniu praca tych systemów sprowadza się do:

- zbierania i przetwarzania danych wejściowych o warunkach i stanie pracy silnika,
- wyboru algorytmu pracy systemu dostosowanego do określonych warunków pracy silnika,
- sterowania składem mieszanki paliwowo-powietrznej i kątem wyprzedzenia wtrysku paliwa zgodnie z założonym programem.

System sterowania składa się z:

- modułu sterownika elektronicznego (MSE), opartego na mikroprocesorze i współpracującego z pamięcią operacyjną z dostępem swobodnym, typu RAM oraz pamięcią zewnętrzną typu ROM, zawierającą program pracy,

- czujników pomiarowych: częstotliwości obrotów, położenia wału korbowego, temperatury czynnika chłodzącego silnik, ciśnienia atmosferycznego i doładowania, natężenia przepływu spalin, położenia elementów nastawczych - pedału przyspieszenia itd.,
- członów wykonawczych (np. siłowników elektromagnetycznych oddziałujących na elementy nastawcze pompy wtryskowej, zaworu recyrkulacji spalin itd.).

Sygnały wyjściowe sterują początkiem wtrysku i wielkością dawki paliwa, dostosowując je do różnych prędkości obrotowych i obciążeń silnika.

Podstawowym problemem związanym z uruchomieniem takiego systemu jest opracowanie algorytmów sterowania pracą silnika, który wprowadza się do pamięci systemu. Ustalenie właściwych programów sterowania wymaga kompleksowych badań współpracy aparatury paliwowej z silnikiem na stanowisku hamowniczym. Na podstawie tych badań opracowuje się tzw. trójwymiarowe mapy charakterystyk dawkowania i kąta wyprzedzenia wtrysku w funkcji obciążenia i prędkości obrotowej (patrz rys. 1) [13]. Przedstawione charakterystyki optymalizuje się głównie pod względem minimalnego zużycia paliwa bądź też, przy zagrożeniu przekroczenia dopuszczalnych norm, pod względem zawartości składników toksycznych w spalinach lub stopnia ich zadymienia.

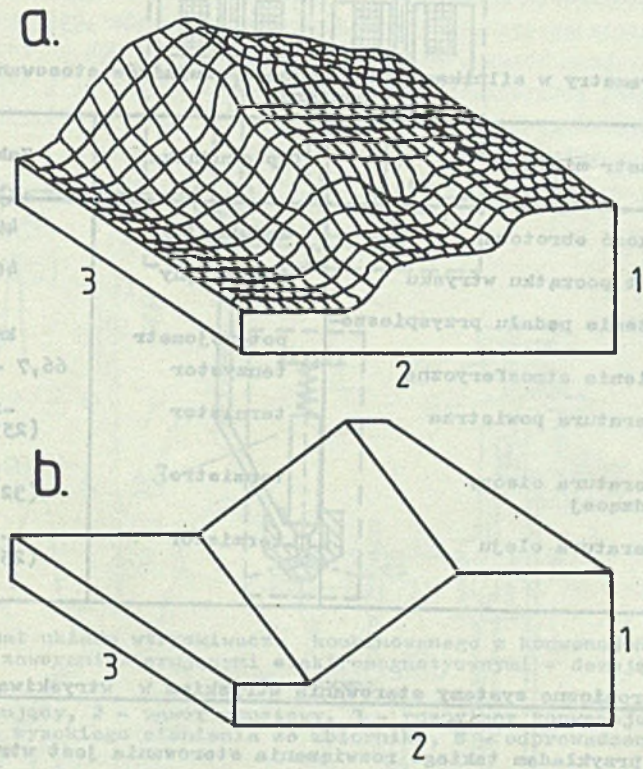
W zależności od miejsca sterowania wtryskiem, efektywność pracy systemu sterowania jest zróżnicowana. Najlepszym rozwiązaniem, z punktu widzenia dokładności sterowania, jest elektroniczne sterowanie pracą wtryskiwacza (otwarcie i zamknięcie) z równoczesnym wyeliminowaniem niekontrolowanych zjawisk hydrodynamicznych, zachodzących w objętości szkodliwej. Można to osiągnąć przy sterowaniu pracą pompowtryskiwacza lub wtryskiwacza współpracującego z akumulacyjnym zbiornikiem wyrównawczym, z którego paliwo pod wysokim, stałym ciśnieniem (70-80 MPa) krótkimi przewodami dopływa do wtryskiwaczy. Pompa wtryskowa (PW) ogranicza się do tłoczenia paliwa pod ciśnieniem do zbiornika [5].

Nie można uniknąć wpływu zjawisk hydrodynamicznych przy elektronicznym sterowaniu wtryskiem na tłoczeniu w pompie wtryskowej (na tłoczeniu lub na listwie sterującej). O ile przy sterowaniu tłoczeniem w PW można wpływać na przebieg charakterystyki wtrysku, to przy sterowaniu listwą sterującą jakość przebiegu wtrysku w znacznym stopniu zależy od wielkości objętości szkodliwej układu i od dokładności regulacji kąta wyprzedzenia wtrysku.

Takie rozwiązanie układu sterowania ma jednak tę zaletę, że w przypadku jego awarii, w wyniku prostych czynności demontażowych, łatwo można przejść na sterowanie ręczne pompy.

Zaletą elektronicznego systemu sterowania wtryskiem jest jego duża żywotność oraz możliwość kompensacji zużycia zespołów mechanicznych. Główne problemy występujące na drodze integracji elektroniki z wtryskiem paliwa są związane z opracowaniem odpowiednich czujników i członów wykonawczych. Należy bowiem wytwarzać czujniki odpowiednio tanie, o wysokiej

dokładności pomiarów, trwałości i niezawodności w każdych warunkach pracy. W ostatnich latach nastąpił znaczny postęp w rozwoju i produkcji tego typu czujników, których rodzaj i zastosowanie przedstawiono w tabl. 1 [13].



Rys. 1. Przebieg zmian geometrycznego początku wtrysku w silnikach z elektronicznym systemem sterowania (a) i mechanicznym regulatorem kąta wyprzedzenia wtrysku (b):

1 - początek wtrysku, 2 - prędkość obrotowa silnika, 3 - obciążenie silnika

Fig. 1. Course of changes of geometrical start of the injection in the diesel engine with electronic control system (a) and mechanical regulator of ignition advance angle (b):

1 - start of injection, 2 - engine speed, 3 - engine load

Sygnały, proporcjonalne do wielkości dawki paliwa, prędkości obrotowej kąta wyprzedzenia wtrysku, uzyskane za pomocą tych czujników, są dostarczane do elektronicznej jednostki centralnej (mikrokomputera). Następnie porównuje się je z wielkościami nastawianymi oraz z innymi sygnałami wejściowymi, takimi jak: temperatura czynnika chłodzącego, ciśnienia doładowania itd. Sygnały wyjściowe, odpowiednio wzmocnione, przesyła się do

członów wykonawczych - ustalających odpowiednią dawkę paliwa, początek i czas trwania wtrysku. Wielkość i czas trwania sygnałów wyjściowych ustala, na podstawie wprowadzonego do pamięci algorytmów, mikrokomputer [5].

Tablica 1

Mierzone parametry w silnikach ZS i rodzaje czujników stosowanych do tych pomiarów

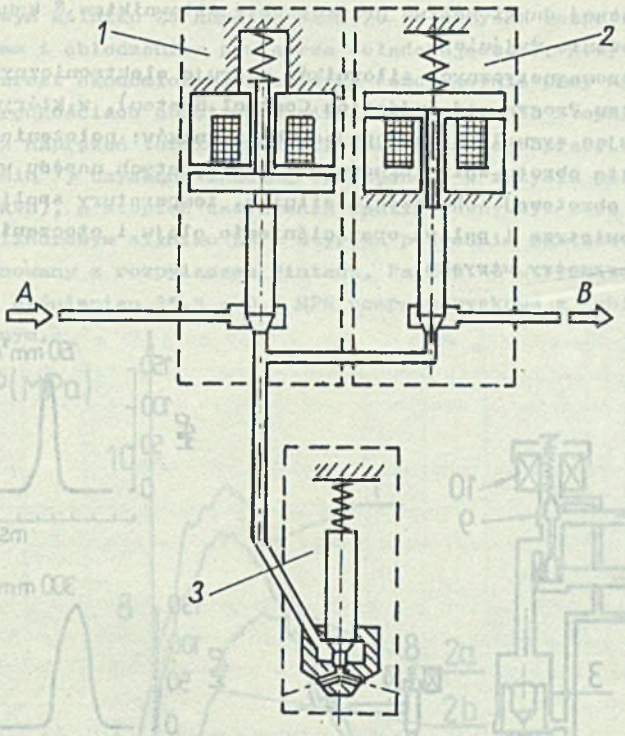
Lp.	Parametr mierzony	Typ czujnika	Zakres pracy
1	Prędkość obrotowa	indukcyjny	40 - 800 Hz
2	Moment początku wtrysku	indukcyjny	40 - 800 Hz
3	Położenie pedału przyspieszenia	potencjometr	kąt do 70°
4	Ciśnienie atmosferyczne	tenzystor	66,7 - 266,6 kPa
5	Temperatura powietrza	termistor	-20 - 80°C (253 - 353°K)
6	Temperatura cieczy chłodzącej	termistro	50 - 120°C (323 - 393°K)
7	Temperatura oleju	termistor	-20 - 80°C (253 - 353°K)

1. Elektroniczne systemy sterowania wtryskiem w wtryskiwaczu

Typowym przykładem takiego rozwiązania sterowania jest wtryskiwacz elektromagnegyczny o działaniu bezpośrednim, w którym momentem oraz czasem otwarcia steruje elektomagnetyczny siłownik, unoszący zespoloną z igłą zworę magnetyczną. Zamknięcie igły nastąpi pod wpływem działania sprężyny zamykającej igłę. Tak rozwiązane sterowanie wtryskiwacza odpowiada najbardziej układowi wtryskowemu z zbiornikiem akumulacyjnym [5, 11].

W takim układzie wtryskowym może również pracować wtryskiwacz kombinowany (z rozpylaczem konwencjonalnym), wyposażony w dwa zawory elektromagnetyczne: dozujący i upustowy (rys. 2). Zadaniem zaworu upustowego, otwieranego w momencie zakończenia wtrysku, jest zmniejszenie wahań ciśnienia w objętości szkodliwej wtryskiwacza, co zapobiega ewentualnemu dotryskowi paliwa po zakończeniu wtrysku.

Gdy wyeliminuje się we wtryskiwaczu kombinowanym zawór 1, nastąpi rozdzielenie funkcji tłoczenia i wtrysku w układzie wysokiego ciśnienia, analogicznie do rozwiązania niżej opisanego systemu DDEC. Tak działający wtryskiwacz umożliwia zastosowanie elektronicznego systemu sterowania w układach wtryskowych z rzędową i rozdzielaczową pompą wtryskową.



Rys. 2. Schemat układu wtryskiwacza kombinowanego z konwencjonalnym rozpylaczem i zaworami sterującymi elektromagnetycznymi - dozującym i upustowym:

1 - zawór dozujący, 2 - zawór upustowy, 3 - rozpylacz konwencjonalny, A - doprowadzenie wysokiego ciśnienia ze zbiornika, B - odprowadzenie nadmiaru

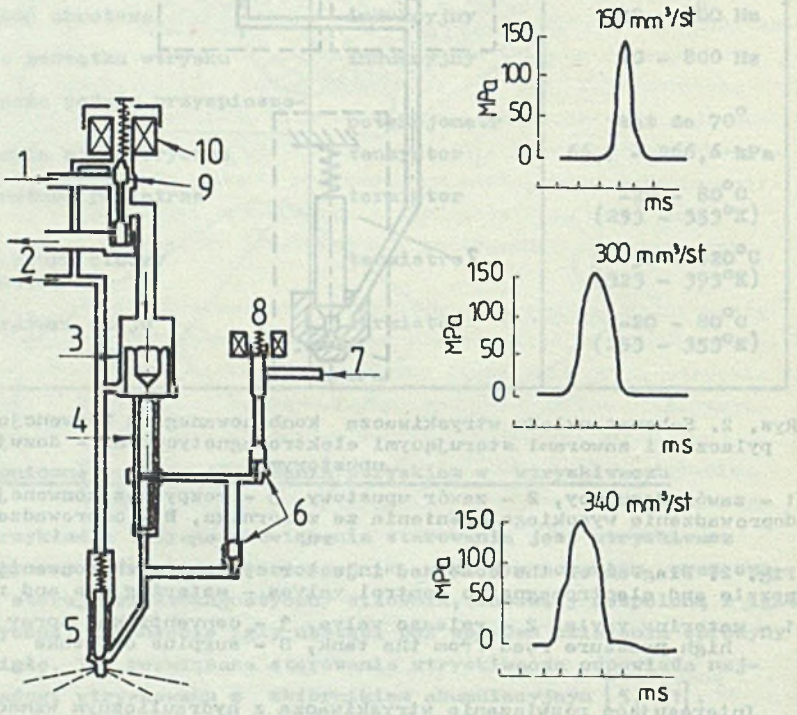
Fig. 2. Diagram of the combined injector system: with conventional spray nozzle and electromagnetic control valves - metering one and release one:

1 - metering vavle, 2 - release valve, 3 - conventional spray nozzle, A - high pressure feed from the tank, B - surplus off take

Interesujące rozwiązanie wtryskiwacza z hydraulicznym wzmacniaczem ciśnienia tłoczenia i elektronicznym sterowaniem wtryskiem przedstawiła firma Komatsu Ltd. Na rys. 3 przedstawiono w uproszczeniu zasadę działania wtryskiwacza wraz z wybranymi przebiegami ciśnienia wtrysku. Paliwo pod wysokim ciśnieniem płynie kanałem 1 do sterowanego elektromagnetycznym siłownikiem 10 zaworu tłoczącego 9. W momencie otwarcia zaworu 9 napływające z PW paliwo działa na tłok 3, który przesuwając tłoczek o znacznie mniejszej średnicy wytworzy w kanale tłoczącym wymagane ciśnienie wtrysku (140 MPa). Wtrysk paliwa rozpocznie się w momencie samoczynnego zamknięcia się zaworu 6, a zakończy w chwili przymknięcia zaworu 9, siłownikiem 10. Spowoduje to spadek ciśnienia sterującego nad tłokiem 3 i w wy-

niku napływu nowej dawki paliwa przez otwarty siłownikiem 8 kanał 7 powrót tłoczka w położenie wyjściowe.

Pracą elektromagnetycznych siłowników steruje elektroniczny system KOMPICS (Komatsu Programmed Injection Control System), w którym mikrokomputer, analizując sygnały z następujących czujników: położenia dźwigni sterującej, kąta obrotu wału korbowego i kół zębatych napędu wałka rozrządu, prędkości obrotowej obciążenia silnika, temperatury spalin, cieczy chłodzącej, powietrza i paliwa oraz ciśnienia oleju i otoczenia, optymalnie dobiera parametry wtrysku.



Rys. 3. Schemat wtryskiwacza sterowanego za pomocą systemu elektronicznego KOMPICS oraz przebiegi ciśnienia wtrysku dla różnej wielkości dawki:

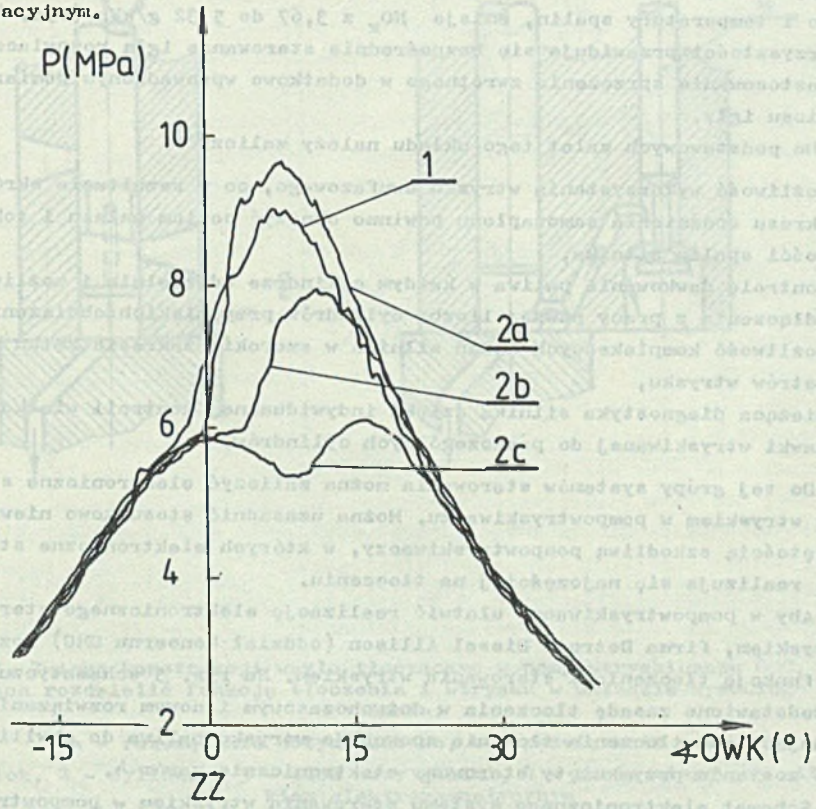
1 - kanał zasilający, 2 - kanał przelewowy, 3 - tłok-serwo, 4 - tłoczek serwa, 5 - rozpylacz konwencjonalny, 6 - zawory samoczynne, 7 - kanał zasilający, 8,10 - siłowniki elektromagnetyczne, 9 - zawór sterujący

Fig. 3. Diagram of the injector controlled by menas of the KOMPICS electronic system and injection pressures for different amount of fuel charge:

1 - feed channel, 2 - overflow channel, 3 - piston- servo, 4 - servo's piston, 5 - conventional spray nozzle, 6 - self - acting valves, 7 - feed channel, 8,10 - electromagnetic servos, 9 - control valve

Badania porównawcze systemu KOMPICS z PW serii ZW prowadzono na 6-cylindrowym silniku ZS Komatsu SA6D170 (o wtrysku bezpośrednim, z turbodoładowaniem i chłodzeniem powietrza doładowującego). Nowy system wtrysku zapewnia wzrost ekonomiczności silnika (szczególnie przy niskich obciążeniach i prędkościach obrotowych silnika), obniżenie stopnia zadymienia spalin oraz naprężeń termicznych silnika. Przy jego pracy z generatorem ($n = 1500\ min^{-1}$) uzyskano znaczną oszczędność w zużyciu paliwa ($g_e = 188,5$ g/kWh), a stopień zadymienia spalin równy był zero [10].

W 4-cylindrowym silniku ZS o wtyrsku pośrednim zastosowano wtryskiwacz kombinowany z rozpylaczem Pintaux. Paliwo do wtryskiwacza podaje pod stałym ciśnieniem 25,5 ± 0,2 MPa pompa wtryskowa z zbiornikiem akumulacyjnym.



Rys. 4. Uśrednione wykresy indykatorowe ciśnienia w komorze spalania, otrzymane za pomocą czujników piezokwarcowych Kistler:

1 - przebieg spalania silnika z dotychczasowym układem sterowania, 2 -... i z systemem elektronicznego sterowania oraz kątem wyprzedzenia wtrysku 16 (a), 11(b) i 6° do ZZ

Fig. 4. Approximated indicator diagrams of the pressure inside combustion chamber obtained by means of Kistler piezoquartz sensors:

1 - course of combustion in the engine with previous control system, 2 - ..... and with the system of elektronic control and injection advance angle 16 (a), 11 (b) and 6° to ZZ

Moment i czas otwarcia zaworu sterującego wtryskiwacza w każdym cylindrze silnika określa, na podstawie wprowadzonych do pamięci algorytmów sterowania i sygnałów z czujników, MSE (z mikroprocesorem Intel 8080A). Kąt wyprzedzenia wtrysku nastawiany jest z dokładnością $\pm$ 0,15°OWK.

W celu poprawy charakterystyki otwarcia i zamknięcia igły rozpylacza zwiększono sztywność sprężyny zamykającej igłę - z 324 do 400 N/mm.

Porównanie wskaźników pracy silnika współpracującego z dotychczas stosowaną pompą typu DPA i z nowym systemem (przy obciążeniu p_o=0,620 MPa i n=2000 min^{-1}) uwidacznia ich wyraźną poprawę: zmniejszyło się jednostkowo zużycie paliwa z 272,4 do 266 g/kWh, stopień zadymienia spalin spadł z 13,9 do 7,4°H. Wzrosła natomiast, w wyniku wzrostu ciśnienia maksymalnego i temperatury spalin, emisja NO_x z 3,67 do 5,32 g/kWh (rys. 4). W przyszłości przewiduje się bezpośrednie sterowanie igłą rozpylacza i zastosowanie sprzężenia zwrotnego w dodatkowo wprowadzonym pomiarze wzniosu igły.

Do podstawowych zalet tego układu należy zaliczyć:

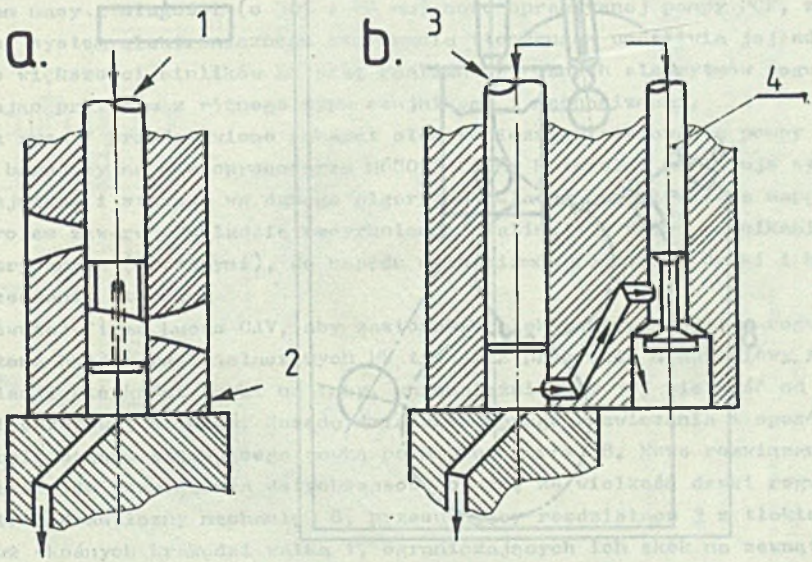
- możliwość wykorzystania wtrysku dwufazowego, co w rezultacie skrócenia okresu opóźnienia samozapłonu powinno obniżyć poziom hałasu i toksyczności spalin silnika,
- kontrolę dawkowania paliwa w każdym cylindrze oddzielnie i możliwość odłączenia z pracy pewnej liczby cylindrów przy niskich obciążeniach,
- możliwość kompleksowych badań silnika w szerokim zakresie zmian parametrów wtrysku,
- bieżąca diagnostyka silnika dzięki indywidualnej kontroli wielkości dawki wtryskiwanej do poszczególnych cylindrów.

Do tej grupy systemów sterowania można zaliczyć elektroniczne sterowanie wtryskiem w pompowtryskiwaczu. Można uzasadnić stosunkowo niewielką objętością szkodliwą pompowtryskiwaczy, w których elektroniczne sterowanie realizuje się najczęściej na tłoczeniu.

Aby w pompowtryskiwaczu ułatwić realizację elektronicznego sterowania wtryskiem, firma Detroit Diesel Allison (oddział koncernu GMC) rozdzieliła funkcję tłoczenia i sterowania wtryskiem. Na rys. 5 schematycznie przedstawiono zasadę tłoczenia w dotychczasowym i nowym rozwiązaniu. Wykonujący suw tłoczenia tłok nie spowoduje wtrysku paliwa do chwili, gdy nie zostanie przymknięty sterowany elektronicznie zawór 4.

Schemat elektronicznego systemu sterowania wtryskiem w pompowtryskiwaczu, o nazwie DDEC (Detroit Diesel Electronic Control), przedstawiono na rys. 6. Optymalny moment otwarcia i zamknięcia zaworu sterującego ustala MSE na podstawie informacji z czujników rejestrujących: położenie dźwigni sterującej, temperaturę oleju i powietrza, prędkość pojazdu, zatrzymanie silnika, natężenie przepływu cieczy chłodzącej, ciśnienie oleju i powietrza doładowania, prędkość obrotową silnika i kąt wyprzedzenia wtrysku.

Zastosowanie nowego rozwiązania w silnikach ZS serii 71 i 92 (produkcji GMC) pozwala zmniejszyć zużycie paliwa (o 5 - 15%) i czasu rozruchu oraz zwiększyć niezawodność ich pracy [8].



Rys. 5. Zmiana konstrukcji węzła tłoczącego w pompowtryskiwaczu GMC, pozwalająca rozdzielić funkcję tłoczenia i wtrysku w układzie wysokiego ciśnienia:

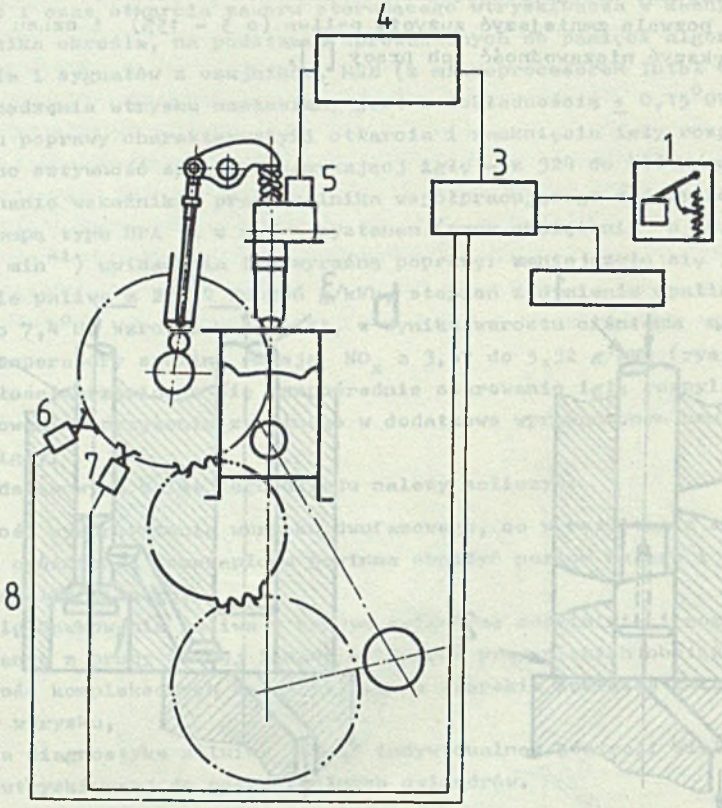
a - rozwiązanie dotychczasowe, b - rozwiązanie nowe,

1 - tłok, 2 - cylinder, 3 - tłok nowy gładki, 4 - zawór sterowany siłownikiem elektromagnetycznym

Fig. 5. Change in construction of delivery point in the GMC injection unit allowing to divide delivery and injection modes in the high -- pressure system:

a - hitherto existing solution, b - new solution,

1 - piston, 2 - cylinder, 3 - new smooth piston, 4 - valve controlled with electromagnetic servo



Rys. 6. Schemat elektronicznego systemu sterowania DDEC pompowtryskiwaczem GMC:

1 - czujnik położenia pedału przyspieszenia, 2 - pozostałe czujniki, 3 - moduł sterownika elektronicznego, 4 - elektroniczny rozdzielacz impulsu sterującego, 5 - blok sterowania elektromagnesów, 6 - czujnik prędkości obrotowej, 7 - czujnik położenia wału korbowego (ZZ), 8 - układ rejestracji prędkości obrotowej i położenia wału korbowego

Fig. 6. Diagram of the elektronic control system DDEC with the GMC injection unit:

1 - indicator of the accelerator pedal position, 2 - remaining sensors, 3 - elektronic controller module, 4 - electronic distributor of the control signal, 5 - control block of electromagnets, 6 - rotational speed sensor, 7 - crankshaft position sensor (ZZ), 8 - recorder of the rotational speed and crankshaft position

2. Elektroniczne sterowanie wtryskiem na tłoczeniu

Elektroniczne systemy sterowania wtryskiem na tłoczeniu opracowała amerykańska firma Standdyne Diesel System. Kieruje ona programem badań mającym na celu budowę wielu systemów elektronicznego sterowania rozdzielaczowych pomp wtryskowych. Pompy z regulacją dawki paliwa jak w pompach typu DPA, wymagały opisanej w części I zmiany konstrukcji (rys. 3). Poza obniżeniem masy i długości (o 30% i 40 mm) nowo opracowanej pompy PCF, zastosowany system elektronicznego sterowania tłoczeniem umożliwia jej adaptację do większości silników ZS oraz realizację różnych algorytmów regulacji, pracując przy tym z różnego typu czujnikami i mechanizmami.

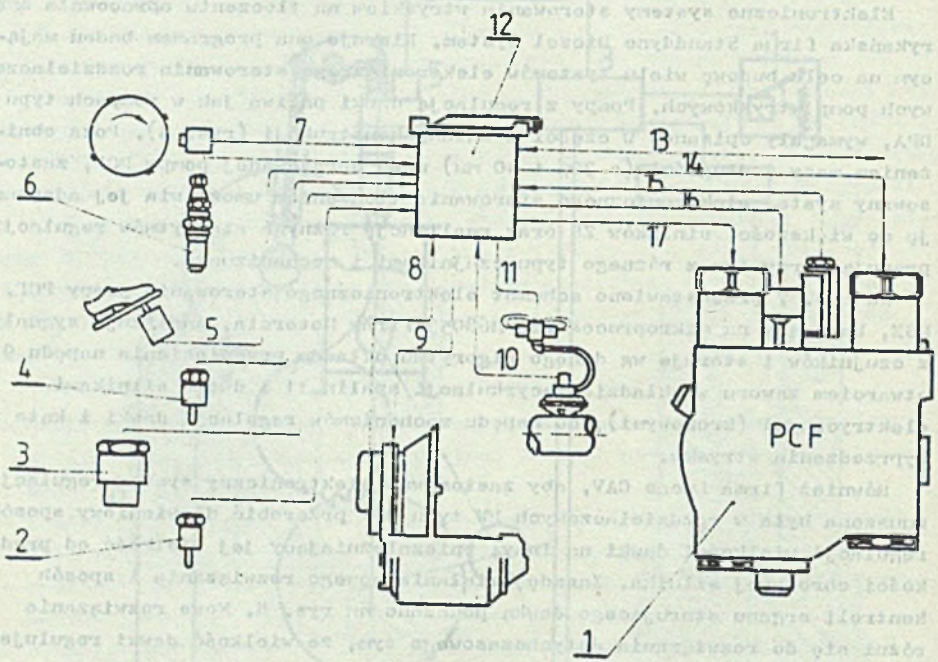
Na rys. 7 przedstawiono schemat elektronicznego sterowania pompy PCF. MSE, bazujący na mikroprocesorze MC68053 firmy Motorola, analizuje sygnały z czujników i steruje wg danego algorytmu układem przeniesienia napędu 9, otwarciem zaworu w układzie recyrkulacji spalin 11 i dwoma silnikami elektrycznymi (krokowymi), do napędu mechanizmów regulacji dawki i kąta wyprzedzenia wtrysku.

Również firma Lucas CAV, aby zastosować elektroniczny system regulacji, zmuszona była w rozdzielaczowych PW typu DPA przerobić dławieniowy sposób regulacji wielkości dawki na inny, uniezależniający jej wielkość od prędkości obrotowej silnika. Zasadę działania nowego rozwiązania i sposób kontroli organu sterującego dawką pokazano na rys. 8. Nowe rozwiązanie różni się do rozwiązania dotychczasowego tym, że wielkość dawki reguluje elektrohydrauliczny mechanizm 8, przesuwający rozdzielacz 3 z tłokiem 2 wzdłuż skośnych krawędzi wałka 1, ograniczających ich skok na zewnątrz.

Pracą elektrohydraulicznego mechanizmu ustalającego wielkość dawki i kąt wyprzedzenia wtrysku steruje wyposażony w mikroprocesor elektroniczny system o nazwie EPIC (Electronicaly Programmed Injection Control). Parametry regulacyjne zależą od położenia pedału przyspieszenia, prędkości obrotowej silnika, położenia zwrotnego tłoka, temperatury powietrza i cieczy chłodzącej, ciśnienia doładowania i wzniosu igły rozpylacza. W układzie pomiaru wielkości dawki i momentu wtrysku zastosowano układ sprzężenia zwrotnego.

Do zalet przedstawionego rozwiązania należy zaliczyć:

- małe wymiary, prostą konstrukcję pompy oraz zmniejszenie wpływu luzów na jej pracę,
- lepszą stabilność dawki i liniową charakterystykę sterowania jej wielkością,
- zmniejszenie nacisków hercowskich i objętości szkodliwej w układzie tłoczącym,
- zwiększoną dokładność regulacji.

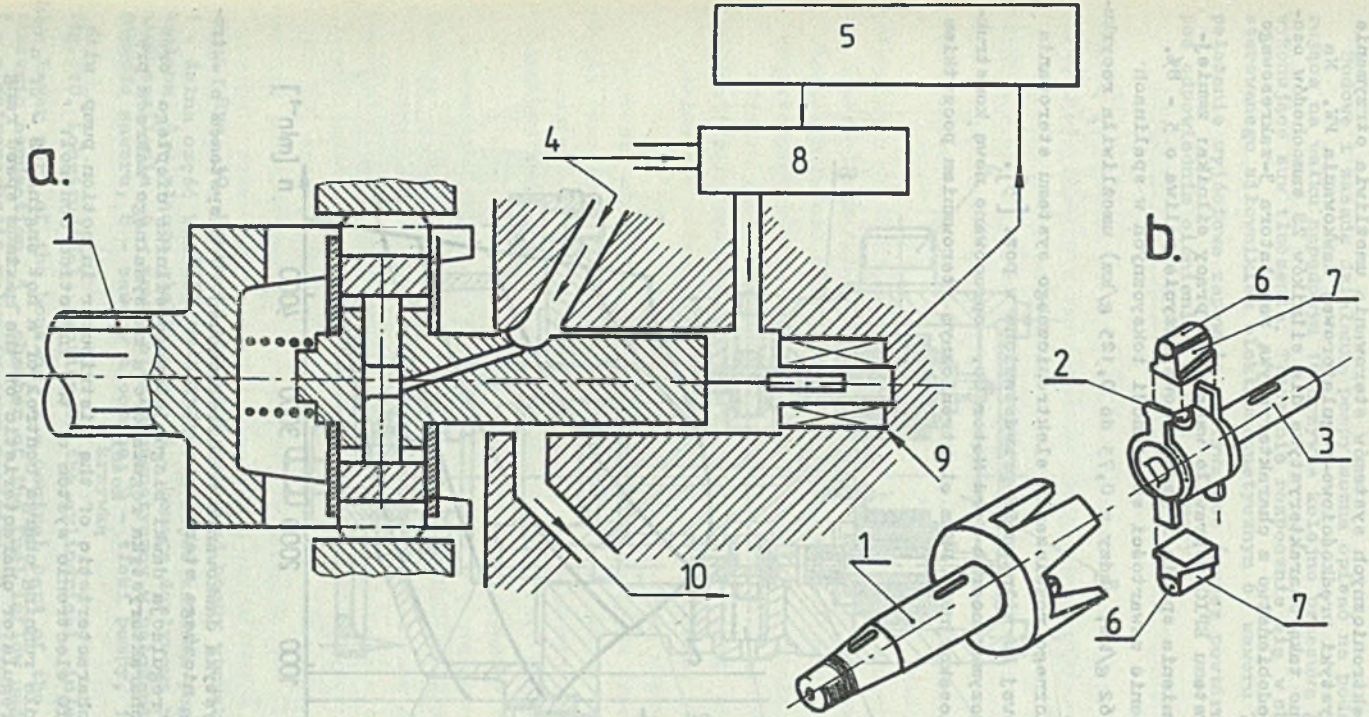


Rys. 7. Schemat elektronicznego systemu sterowania rozdzielaczowej pompy wtryskowej PCF:

1 - PW PCF, 2-4 - czujniki odpowiednio temperatury powietrza, ciśnienia w kolektorze ssącym i temperatury cieczy chłodzącej, 5-8 - czujniki odpowiednio położenia pedału przyspieszenia, początku wtrysku, prędkości obrotowej i ZZ wału korbowego oraz prędkości samochodu, 9 - sprzężenie zwrotne w układzie pomiaru prędkości pojazdu, 10 - czujnik otwarcia zaworu recyrkulacji spalin, 11 - układ otwarcia zaworu recyrkulacji spalin, 12 - elektroniczna jednostka centralna, 13 - kanał dodatkowy, 14 - kanał sterowania silnikiem krokowym przestawiacza wtrysku, 15 - sprzężenie zwrotne przy pomiarze przemieszczenia dźwigni sterującej dawkowaniem, 16 - kanał regulacji pracy zaworu zamykającego dopływ paliwa, 17 - kanał sterowania silnikiem krokowym regulacji wielkości dawki

Fig. 7. Diagram of the electronic control system of the distributor injection pump PCF:

1 - PCF injection pump, 2-4 - sensors of the air temperature, pressure in the suction collector and cooling liquid temperature respectively, 5-8 - sensors of the accelerator position pedal, start of the injection, rotational speed and crankshaft position and car speed respectively, 9 - feedback to the car speed measuring system, 10 - opening sensor of the combustion gas recirculation valve, 11 - opening system of the combustion gas recirculation valve, 12 - electronic central processing unit, 13 - additional channel, 14 - central channel of the injection switch - over walking engine, 15 - feedback when measuring displacement of the dosing control lever, 16 - control channel of the fuel cut- off valve operation, 17- control channel of the charge amount walking motor



Rys. 8. Schemat elektronicznego systemu sterowania wtryskiem w rozdzielaczowej pompie wtryskowej (a) z ulepszonym układem sterowania dawką (b):

1 - wałek napędowy, 2 - tłoki, 3 - rozdzielacz, 4 - paliwo z pompy zasilającej, 5 - elektroniczna jednostka centralna, 6 - rolki popychaczy, 7 - popychacze, 8 - siłownik hydrauliczny, 9 - czujnik położenia rozdzielacza, 10 - tłoczone paliwo do wtryskiwaczy

Fig. 8. Diagram of the electronic control system of the injection in a distributor injection pump (a) with improved fuel charge control system (b):

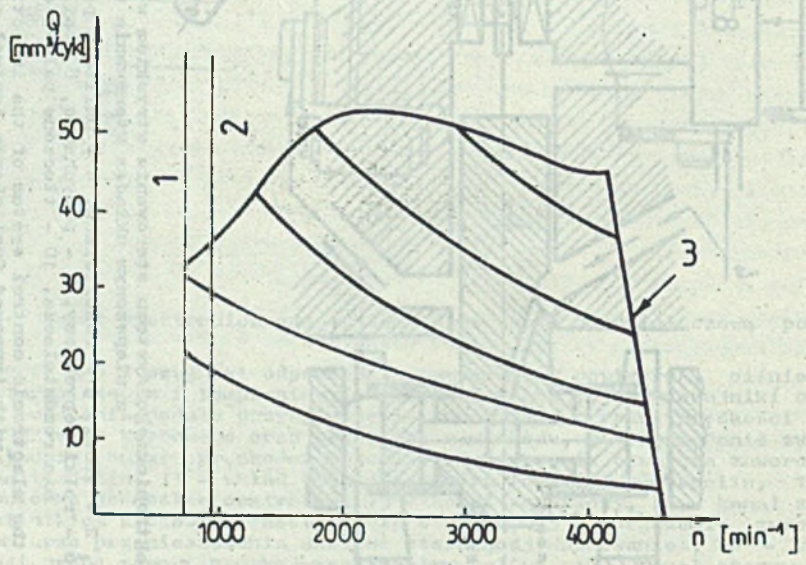
1 - drive shaft, 2 - pistons, 3 - distributor, 4 - fuel from the feed pump, 5 - electronic central processing unit, 6 - cam follower rolls, 7 - cam followers, 8 - hydraulic servo - motors, 9 - distributor position sensor, 10 - fuel delivered to the injectors

Zastosowanie elektronicznych systemów sterowania umożliwia otrzymanie dowolnej charakterystyki prędkościowo-regulatorowej dawkowania PW. Na rys. 9 przedstawiono taką charakterystykę dla silników ZS samochodów osobowych (widoczne podobieństwo z charakterystyką regulatora 3-zakresowego - cz.I rys. 10).

Zastosowanie systemu EPIC poprawiło wskaźniki pracy silnika: zmniejszyło stopień zadymienia spalin i jednostkowe zużycie paliwa o 5 - 8%. Dodatkowe zmniejszenie zawartości substancji toksycznych w spalinach (NO_x z 0,78 do 0,62 g/km, sadzy z 0,75 do 0,125 g/km) umożliwiła recyrkulacja spalin [7].

Schemat analogicznego rozwiązania elektronicznego systemu sterowania pracą rozdzielaczowej PW silnika ZS przedstawiono w poz. [5].

W centrum badawczym koncernu Ford Motor Co. opracowano nową konstrukcję walcowej (wielosekcyjnej) PW z elektronicznym sterowaniem początkiem i czasem wtrysku.



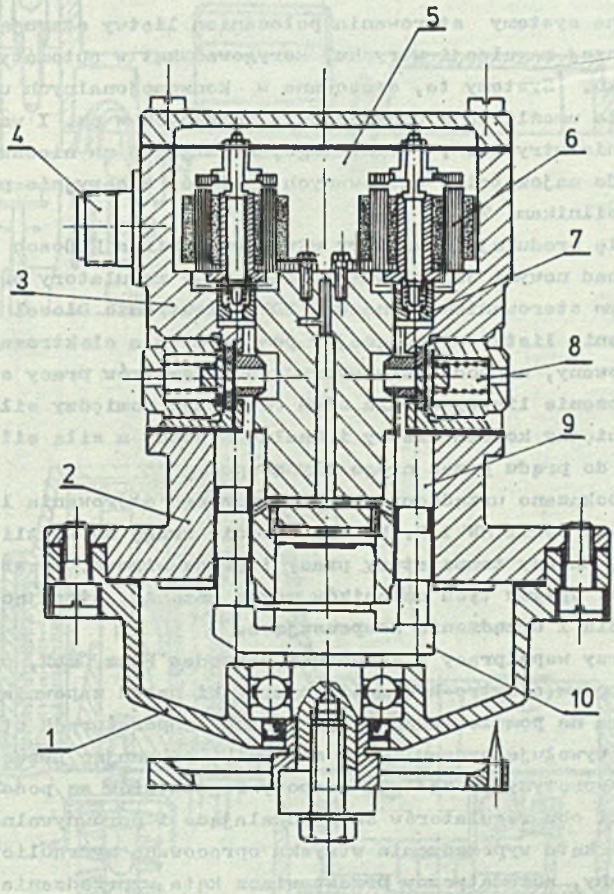
Rys. 9. Charakterystyka dawkowania rozdzielaczowej PW z systemem elektronicznego sterowania wtryskiem EPIC:

1 - isochroniczna regulacja dawki biegu jałowego silnika ciepłego oraz 2 - zimnego, 3 - charakterystyka regulatorowa maksymalnego zakresu prędkości

Fig. 9. Batching characteristic of the distributor injection pump with the EPIC electronic system of the injection control:

1 - isochronous idle running charge control of a hot engine, 2 - of a cold engine, 3 - regulator characteristic of the maximum speed rang

Budowę i zasadę działania pompy można opisać na podstawie rys. 10. Wirująca na wałku napędowym 10 krzywka kolejno przesuwa gładkie tłoki 9, wykonując suw tłoczenia. Tłoczenie rozpocznie się w chwili przymknięcia, sterowanego siłownikiem elektromagnetycznym 6, zaworu 7. Powrót tłoka w położenie wyjściowe zapewnia napływające (przez powtórnie otwarty zawór 7) pod odpowiednim ciśnieniem paliwo z komory 5.



Rys. 10. Przekrój wzdłużny walcowej pompy wtryskowej EME-4:
1 - dolna część kadłuba, 2 - środkowa część kadłuba pompy, 3 - górna część kadłuba, 4 - złącze elektryczne, 5 - komora dopływowa paliwa pod ciśnieniem zasilania, 6 - zawór elektromagnetyczny w położeniu otwarcia, 7 - gniazdo zaworu, 8 - zawory tłoczące, 9 - tłoki pompy, 10 - wałek napędowy z krzywką

Fig. 10. Longitudinal section of the cylindrical injection pump EME-4:
1 - lower part of the housing, 2 - central part of the pump housing, 4 - electric connection, 5 - chamber of the fuel inflow under feed pressure, 6 - electromagnetic valve in open position, 7 - valve seat, 8 - delivery valves, 9 - pump pistons, 10 - drive shaft with a cam

Pompę z taką konstrukcją zaprojektowano specjalnie dla elektronicznych systemów sterowania wtryskiem na tłoczeniu. Odznacza się prostą budową (nie ma również regulatora), niskim kosztem produkcji i wydatnie poprawia parametry pracy silnika [14].

3. Elektroniczne systemy sterowania położeniem listwy sterującej

Elektroniczne systemy sterowania położeniem listwy sterującej powinny, w celu pełniejszej regulacji wtrysku, korygować kąt w automatycznym przestawiaczu wtrysku. Systemy te, stosowane w konwencjonalnych układach wtryskowych, nie umożliwiają zmniejszenia opisanych w cz. I wad szczelinowego sterowania wtryskiem. Pomimo tego, ze względu na niezawodność działania, należą do najczęściej stosowanych systemów w seryjnie produkowanych samochodach z silnikami ZS.

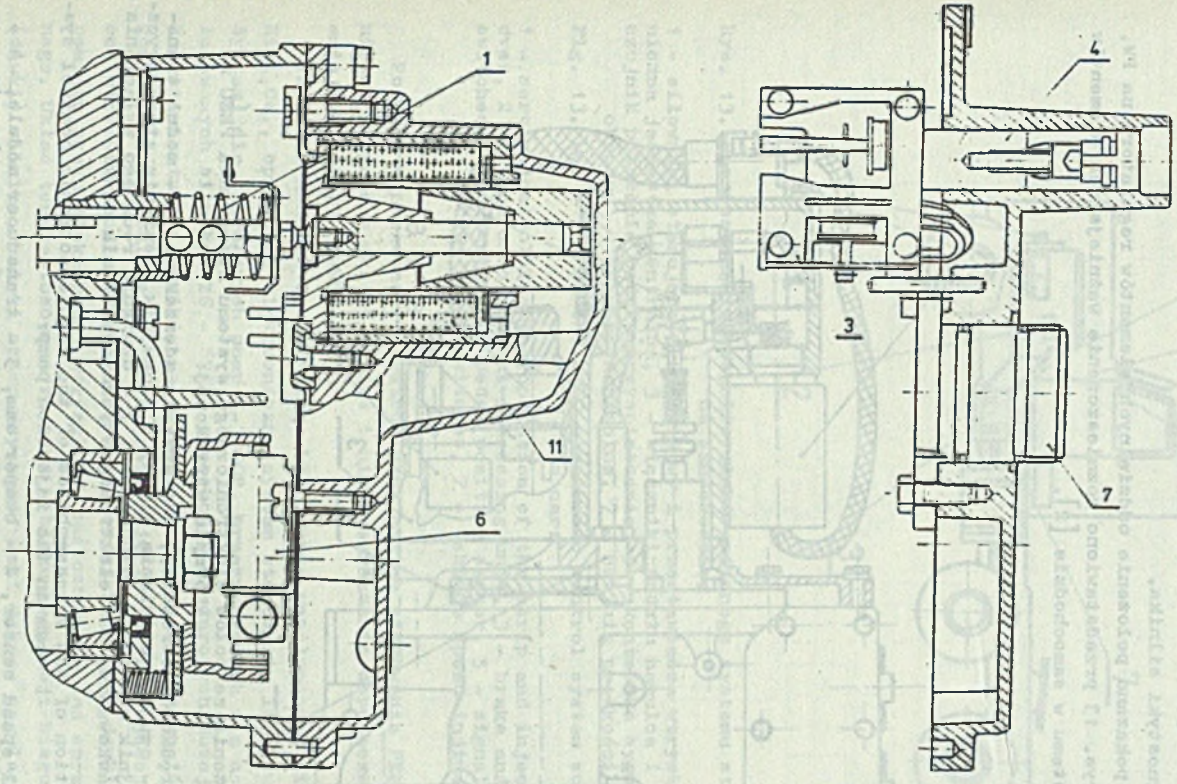
Zajmując się produkcją aparatury wtryskowej firma R.Bosch opracowała, w ramach prac nad nowymi jej rozwiązaniami, nowe regulatory prędkości z elektronicznym sterowaniem, o nazwie EDU (Elektronic Diesel Control). Wymagane położenie listwy sterującej w pompie ustala elektromagnetyczny siłownik, sterowany, na podstawie wybranych parametrów pracy silnika przez MSE. Położenie listwy ustala stan równowagi pomiędzy siłą sprężyny zaciśniętej pomiędzy końcem listwy i kadłubem pompy a siłą siłownika, proporcjonalną do prądu przez niego płynącego,

Na rys. 11 pokazano urządzenie elektronicznego sterowania listwą w pompie wtryskowej serii MW i P. Należy zwrócić uwagę na wrażliwość regulatora na paliwo, zmiany temperatury pracy i prądy wirowe, powstające w elektromagnesie. Wpływu tych czynników można uniknąć, stosując odpowiednie uszczelnienia i urządzenia kompensujące.

Poza tym, przy współpracy z koncernem Mercedes Benz GmbH, opracowano regulator z napędem elektro-hydraulicznym. Taki napęd zapewnia niezawodną pracę regulatora na pompie także przy niskich temperaturach otoczenia. Przesuw listwy wywołuje hydrauliczny siłownik, pokonując przeciwnie skierowaną siłę od sprężyny. Pozostałe zespoły regulatorów są podobne. Dynamiczne wskaźniki obu regulatorów są zadowalające i porównywalne [6, 15].

Do regulacji kąta wyprzedzenia wtrysku opracowano hydrauliczny elektronicznie sterowany, automatyczny przestawiacz kąta wyprzedzenia wtrysku.

Dla silników ZS serii 3400, przeznaczonych do samochodów ciężarowych, w firmie Caterpillar opracowano system elektronicznego sterowania o nazwie PEEC (Programmable Electronic Engine Control). System ten wykonano w dwu wariantach: sterującym (ocenia parametry pracy silnika i wg nich aktywnie steruje różnymi procesami regulacji) oraz informacyjnym (ocenia parametry pracy silnika, a wyniki oceny wyświetla na desce rozdzielczej w kabinie kierowcy).



Rys. 11. Urządzenia elektromagnetycznego sterowania położeniem listwy sterującej pompy wtryskowej serii MW i P:

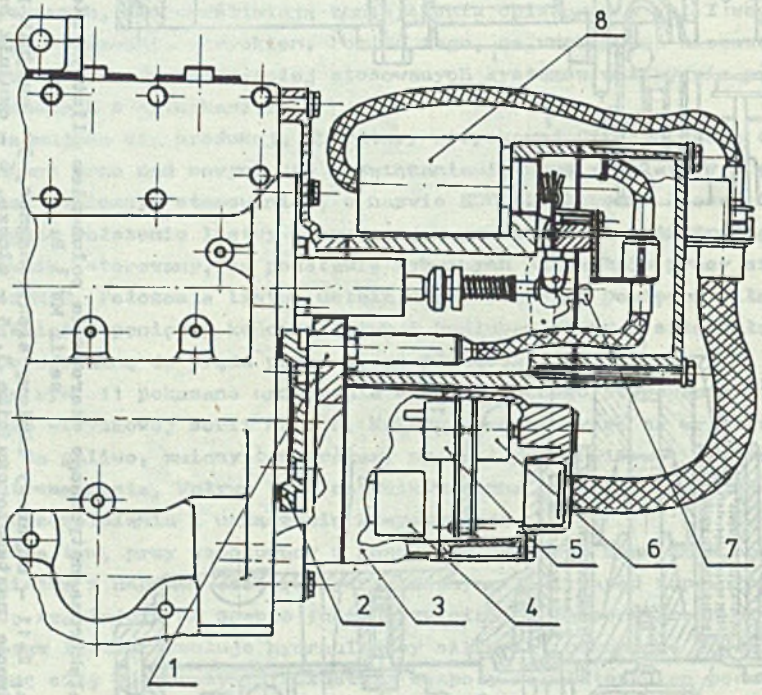
1 - sprężyna powrotna, 2-11 - amperowy liniowy elektromagnes, 3 - czujnik położenia listwy sterującej 4 - urządzenie nastawcze czujnika 3, 5 - złącze, 6 - czujnik prędkości obrotowej

Fig. 11. Electronic control devices of the MW and P series injectoin pump control strip position:

1 - return spring, 2 - linear 11 - ampere electromagnet, control strip position sensor, 4 - sensors' positioning device, 5 - connection, 6 - rotational speed sensor

System PEEC spełnia następujące funkcje: utrzymuje na odpowiednim poziomie skład mieszanki, odmierza dawkę w zależności od wymaganego momentu obrotowego i ciśnienia atmosferycznego, ustala optymalny kąt wyprzedzenia wtrysku uwzględniając równocześnie prędkość pojazdu. Poza tym układ może służyć do diagnostyki silnika.

Na rys. 12 pokazano położenie oddzielnych elementów regulatora na PW. Natomiast na rys. 13 przedstawiono rozmieszczenie ważniejszych elementów i zespołów systemu w samochodzie [2].

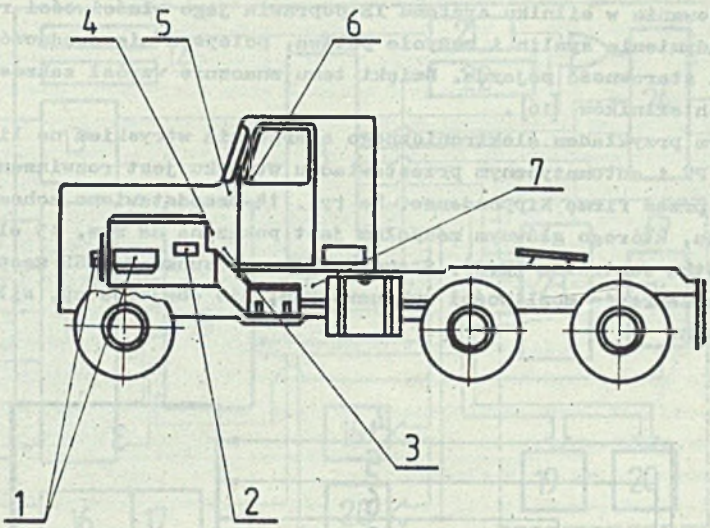


Rys. 12. Położenie zespołów elektronicznego systemu sterowania PEEC na pompie wtryskowej:

1 - czujnik prędkości obrotowej, 2 - krzywka zderzakowa, 3 - moduł transformujący, 4 - czujnik ciśnienia oleju, 5 - czujnik ciśnienia atmosferycznego, 6 - czujnik ciśnienia doładowania, 7 - dźwignia ręcznego wyłączania dawkowania, 8 - elektromagnetyczny wyłącznik dawki

Fig. 12. Position of the subassemblies of the PEEC electronic control system on the injection pump:

1 - rotational speed sensor, 2 - bumper cam, 3 - transducer module, 4 - oil pressure gauge, 5 - atmospheric pressure gauge, 6 - supercharging pressure gauge, 7 - hand lever of the batching break, 8 - fuel charge electromagnetic breaker



Rys. 13. Rozmieszczenie zespołów elektronicznego systemu sterowania PEEC na samochodzie:

1 - siłowniki sterujące pracą listwy i przestawiacza wtrysku, 2 - elektroniczna jednostka centralna, 3 - włączniki pedału hamulca i sprzęgła, 4 - czujnik położenia pedału przyspieszenia, 5 - kontrolka sygnalizacyjna, 6 - obrotowe włączniki kontrolne, 7 - czujnik prędkości pojazdu

Fig. 13. Lay - out of the PEEC electronic control system subassemblies in a car:

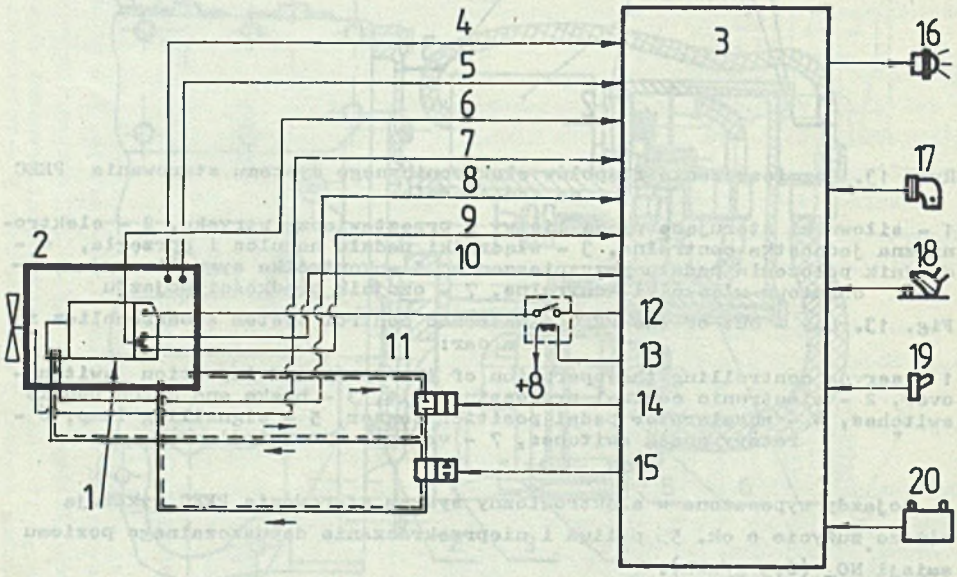
1 - servos controlling the operation of the strip and injection switch - over, 2 - electronic central processing unit, 3 - brake and dutch pedals switches, 4 - accelerator pedal position sensor, 5 - signalling lamp, 6 - rotary check switches, 7 - vehicle speed indicator

Pojazdy wyposażone w elektroniczny system sterowania PEEC wykazują niższe zużycie o ok. 5% paliwa i nieprzekraczanie dopuszczalnego poziomu emisji NO_x (6,5 g/kWh).

Japoński koncern Isuzu Motors Ltd., przy współpracy z firmą Diesel Kiki Co., opracował elektroniczny system sterowania IE (Isuzu Electronic System) dla szeregowych pomp S-3000P, przeznaczonych dla nowych turbodoładowanych silników ZS - 6RA1T samochodów ciężarowych dużej ładowności. W systemie tym siłowniki, na podstawie odpowiednich sygnałów pomiarowo-kontrolnych, ustalają optymalne położenie listwy sterującej i przestawiacza wtrysku. W celu zwiększenia dokładności regulacji dawki, w układzie pomiaru skoku tłoka pompy wtryskowej zastosowano układ sprzężenia zwrotnego. Układ ten zastosowano również w bloku regulacji biegu jałowego (dawki) silnika, dzięki czemu uzyskano wąski zakres regulacji prędkości. Bb.j.

Zastosowanie w silniku systemu IE poprawia jego właściwości rozruchowe, obniża zadymienie spalin i zużycie paliwa, polepsza niezawodność pracy silnika i sterowność pojazdu. Dzięki temu znacznie wzrósł zakres zastosowania tych silników [16].

Typowym przykładem elektronicznego sterowania wtryskiem na listwie rzędowej PW i automatycznym przestawiaczu wtrysku jest rozwiązanie przedstawione przez firmę Nippondenso. Na rys. 14 przedstawiono schemat blokowy systemu, którego głównym zespołem jest pokazana na rys. 15 elektroniczna jednostka centralna (EJC). Stanowi ona w stosunku do MSE zespół o mniejszym zakresie możliwości wykonawczych, nie obejmuje np. siłowników sterujących.

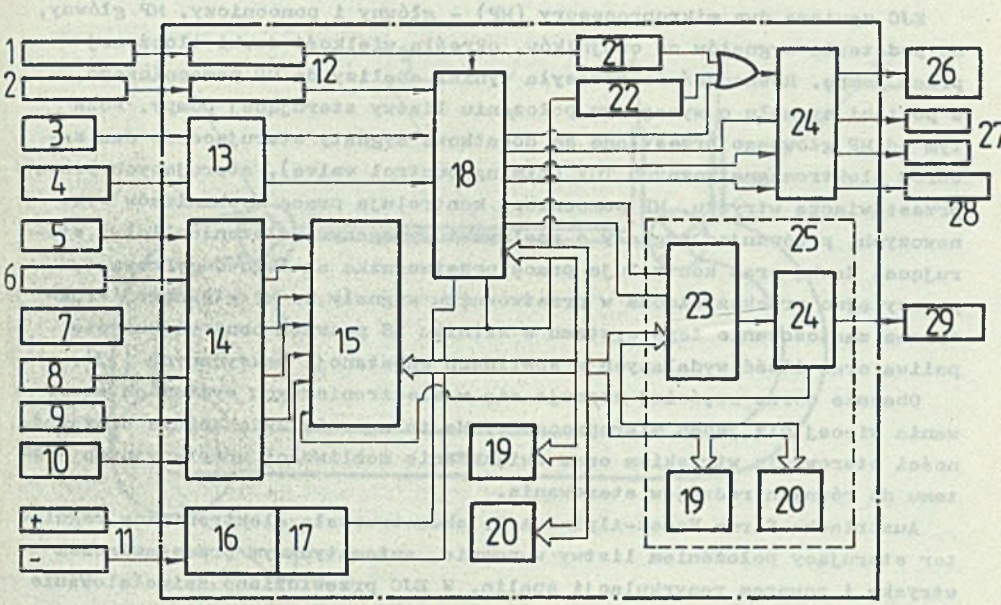


Rys. 14. Schemat elektronicznego regulatora firmy Nippondenso:

1 - pompa wtryskowa, 2 - silnik ZS, 3 - MSE, 4 - sygnał ciśnienia otoczenia, 5 - sygnał temperatury otoczenia, 6 - sygnał temperatury oleju, 7 - sygnał temperatury cieczy chłodzącej, 8 - sygnał prędkości obrotowej silnika, 9 - sygnał początku wtrysku, 10 - sygnał położenia listwy sterującej, 11 - kanał układu sterowania, 12 - sygnał sterujący liniowym elektromagnesem, 13 - bufor wejścia cyfrowego, 14,15 - sygnały sterujące pracą dwu zaworów przestawiacza kąta wtrysku, 16 - indykator, 17 - włącznik rozrusznika, 18 - pedał przyspieszenia, 19 - tumbler włączenia układu diagnostycznego, 20 - akumulator

Fig. 14. Diagram of the Nippondenso electronic controller:

1 - injection pump, 2 - diesel engine, 3 - ECM, 4 - ambient pressure signal, 5 - ambient temperature signal, 6 - oil temperature signal, 7 - cooling liquid temperature signal, 8 - injection start signal, 10 - control strip position signal, 11 - control system channel, 12 - control signal (command) in the linear electromagnet, 13 - digital input buffer store, 14,15 - operation commands of two valves of the injection angle switchover, 16 - indicator, 17 - statrer switch, 18 - accelerator pedal, 19 - tumbler of diagnostic system switching, 20 - accumulator



Rys. 15. Schemat blokowy MSE:

1 - sygnał od czujnika prędkości obrotowej, 2 - sygnał początku wtrysku, 3 - czujnik włącznika rozrusznika, 4 - diagnostyka, 5 - sygnał położenia pedału przyspieszenia, 6 - sygnał temperatury powietrza, 7 - sygnał ciśnienia atmosferycznego, 8 - sygnał temperatury cieczy chłodzącej, 9 - sygnał tempreatury oleju, 10 - sygnał położenia listwy sterującej, 11 - akumulator, 12 - układ formowania impulsów, 13 - fubor wejścia cyfrowego, 14 - bufor wejścia analogowego, 15 - przetwornik analogowo-cyfrowy, 16 - źródło zasilania, 17 - znacznik czasu, 18 - główny mikroporcesor, 19 - pamięć zewnętrzna 8 kB (ROM), 20 - pamięć operacyjna z dostępem swobodnym 2 kB (RAM), 21 - sygnalizator przekroczenia prędkości obrotowej dopuszczalnej, 22 - sygnalizator błędu (niesprawności działania), 23 - mikroprocesor pomocniczy, 24 - wzmacniacz, 25 - układ sterowania położeniem listwy sterującej, 26 - cewka liniowego elektromagnesu, 27 - zawory sterujące dopływem oleju do automatycznego przestawiacza wtrysku, 28 - indykator, 29 - liniowy elektromagnes

Fig. 15. Block diagram of the electronic control module ECM:

1 - signal from the rotational speed sensor, 2 - signal of the injection start, 3 - starter switch sensor, 4 - diagnostics, 5 - accelerator pedal position signal, 6 - air temperature signal, 7 - atmospheric pressure signal, 8 cooling liquid temperature signal, 9 - oil temperature signal, 10 - control strip position signal, 11 - accumulator, 12 - impulse forming system, 13 - digital inpult buffer store, 14 - analog input buffer store, 15 - A/D converter, 16 - supply source, 17 - time measurer, 18 - main microprocessor, 19 - external memory 8 kB (ROM), 20 - internal memory with random access 2 kB (RAM), 21 - indicator of exceeding the admissible rotational speed, 22 - error indicator, 23 - auxiliary microprocessor, 24 - amplifier, 25 - strip position control system, 26 - linear electromagnet coil, 27 - control valves of the oil inflow to the automatic injection switch-over, 28 - indicator, 29 - linear electromagnet

EJC zawiera dwa mikroprocesory (MP) - główny i pomocniczy. MP główny, na podstawie sygnałów od czujników, określa wielkość dawki tłoczonej przez pompę. Równocześnie przesyła wyniki analizy do MP pomocniczego, w postaci sygnału o wymaganym położeniu listwy sterującej pompy. Poza tym od MP głównego przesyłane są dodatkowe sygnały sterujące do dwu zaworów elektromagnetycznych TCV (timing control velve), sterujących pracą przestawiacza wtrysku. MP pomocniczy kontroluje pracę mechanizmów wykonawczych, proównując sygnały o realnym i wymaganym położeniu listwy sterującej dawką oraz kontroluje pracę przetwornika analogowo-cyfrowego, przesyłając przekształcone w przetworniku sygnały do MP głównego. Praktyczne zastosowanie tego systemu w silniku ZS pozwala obniżyć zużycie paliwa oraz ilość wydalanych w spalinach substancji toksycznych [13].

Obecnie coraz częściej stosuje się w elektronicznych systemach sterowania więcej niż jeden mikroprocesor. Ma to na celu zwiększenie niezawodności sterowania wtryskiem oraz zwiększenie możliwości adaptacyjnych systemu do różnych rodzajów sterowania.

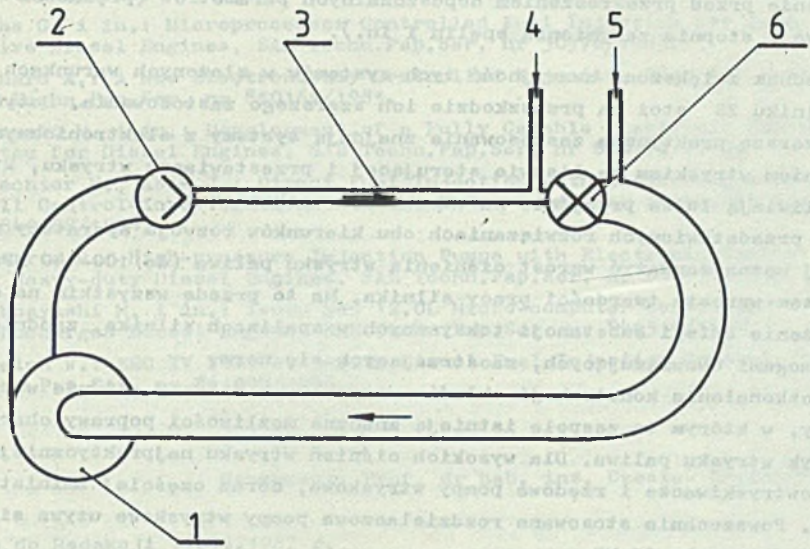
Austriacka firma Voest-Alpine A.G. skonstruowała elektroniczny regulator sterujący położeniem listwy w pompie, automatycznym przestawiaczem wtrysku i zaworem recyrkulacji spalin. W EJC przewidziano zainstalowanie 2 do 4 mikroprocesorów trzeciej generacji, co pozwala zwiększyć niezawodność i szybkość działania regulatora oraz uniknąć wielu ograniczeń w pracy systemu z jednym mikroprocesorem. Tak rozwiązany system wzajemnie sprzężonych mikroprocesorów różni się od znanych systemów z 2 pracującymi równolegle mikroprocesorami, wypełniającymi identyczne programy pracy, porównując nawzajem otrzymane rezultaty [9].

4. Inne układy wtryskowe silników ZS

W tej grupie rozwiązań umieszczono wszystkie pozostałe układy wtryskowe, które nie odpowiadają żadnej z wcześniej opisanych grup. Ciągle trwają poszukiwania nowych rozwiązań, mogących wyeliminować wady dotychczas stosowanych układów.

Firma Ricardo C.E. pracuje nad nowym układem wtryskowym o nazwie Fuel Hammer, w którym wykorzystano efekt uderzenia hydraulicznego. Na rys. 16 przedstawiono uproszczony schemat budowy tego układu.

Przed wtryskiem, pod wpływem działania pompy 1, paliwo krąży w zamkniętym obiegu, wpływając do obiegu przewodem 5. Kiedy odpowiedni sygnał zamknie zawór elektromagnetyczny 6, powstanie fala ciśnienia biegnąca przewodem do wtryskiwacza 4. Ciśnienie fali otworzy igłę wtryskiwacza i rozpocznie się wtrysk, który zakończy się w momencie spadku ciśnienia do wartości ciśnienia zamknięcia wtryskiwacza. Wtrysk można zakończyć wcześniej przez otwarcie zaworu 6, co sposowuje powtórne krążenie paliwa w obiegu. W rzeczywistości zjawiska przepływu paliwa w układzie są bardziej złożone [1].



Rys. 16. Zasada działania układu wtryskowego typu Fuel Hammer:
1 - pompa o ciśnieniu tłoczenia ok. 2,5 MPa, 2 - zawór jednokierunowy, 3 - przewód efektu udaru hydraulicznego, 4 - przewód wysokociśnieniowy, 5 - przewód zasilający zamkniętego obiegu FH, 6 - zawór odcinający

Fig. 16. Operation principle of the Fuel Hammer type injection system:
1 - pump with delivery pressure of aboust 2,5 MPa, 2 - nonreturn valve, 3 - hydraulic shock effect pipe, 4 - high pressure pipe, 5 - feed pipe of the closed FH cycle, 6 - cut - off valve

5. Podsumowanie

Obecnie na świecie rozwój aparatury wtryskowej silników ZS idzie w dwu kierunkach: udoskonalanie dotychczas stosowanych konstrukcji i elektronizacja systemu sterowania wtryskiem. Często w trakcie wdrażania elektronicznego systemu sterowania usprawnia się konstrukcję zespołów układu wtryskowego.

Na obecnym etapie rozwoju aparatury wtryskowej obydwa wyżej przedstawione kierunki mają wiele wad i zalet. Do niwątpliwych zalet elektronicznych systemów sterowania wtryskiem należy:

- możliwość zmian parametrów wtrysku paliwa w zależności od jakości paliwa, warunków atmosferycznych i parametrów pracy silnika,
- uniezależnienie charakterystyk wtrysku paliwa od stopnia zużycia układu wtryskowego,
- sterowanie recyrkulacją spalin i optymalizacja parametrów wtrysku wg zmiennych kryteriów oceny,

- pomiar i bieżąca kontrola parametrów pracy silnika oraz jego zabezpieczenie przed przekroczeniem dopuszczalnych parametrów (prędkości obrotowej, stopnia zadymienia spalin i in.).

Jednak zwiększona awaryjność tych systemów w złożonych warunkach pracy w silniku ZS stoi na przeszkodzie ich szerszego zastosowania. Dotychczas najszersze praktyczne zastosowanie znajdują systemy z elektronicznym sterowaniem wtryskiem na listwie sterującej i przestawiaczu wtrysku, które umożliwiają łatwe przejście na sterowanie mechaniczne.

W przedstawionych rozwiązaniach obu kierunków rozwoju aparatury wtryskowej można zauważyć wzrost ciśnienia wtrysku paliwa (do 100-140 MPa) kosztem wzrostu twardości pracy silnika. Ma to przede wszystkim na celu obniżenie emisji substancji toksycznych w spalinach silnika, zgodnie z wymogami obowiązujących, zaostrzających się norm.

Doskonalenie konstrukcji układów wtryskowych dotyczy głównie wtryskiwaczy, w którym to zespole istnieją znaczne możliwości poprawy charakterystyk wtrysku paliwa. Dla wysokich ciśnień wtrysku najpraktyczniejsze są pompowtryskiwacze i rzędowe pompy wtryskowe, coraz częściej zminiaturyzowane. Powszechnie stosowane rozdzielaczowe pompy wtryskowe używa się do ciśnień wtrysku 25 MPa.

Również mechaniczne regulatory prędkości obrotowej silnika mają znaczne rezerwy w poprawie charakterystyk prędkościowo-regulatorowych dawkowania.

W najbliższych latach należy przewidywać coraz szersze stosowanie elektronicznych systemów sterowania wtryskiem w silnikach o zapłonie samoczynnym.

LITERATURA

[1] Ball W.: Two Nowel Diesel Injection System. SAE Techn.Pap.Ser. nr 840272/84.

[2] Caterpillar PEEC Electronic Controls for Truck Diesel. Diesel Progr. N. Amer. 8/1985.

[3] Chacyjan A. i in.: Elektronnoje normirowanie podaczi topliwa w dizel. "Awtomobilnaja Promyszlennost" 1986, nr 12.

[4] Cupiał K., Domański J.: Elektroniczne systemy sterowania silnikami ZI i ZS. "AUTO-Technika Motoryzacyjna" 1984, nr 6.

[5] Falkowski H., Janiszewski T., Łojek A.: Aparatura paliwowa silników wysokoprężnych. Poradnik użytkowania. WKŁ, Warszawa 1984, cz. I i II.

[6] Feucht H. i in.: Die neue Mercedes-Benz Dieselmotoren-Baureihe für Personenwagen. Cz.I, MTZ nr 10/1985.

[7] Glikin P.: An Electronic Fuel Injection System for Diesel Engines. SAE Techn. Pap.Ser. nr 850453/1985.

[8] Hames K. i in.: Electronics Control Unit Injection Governing. "Automot. Eng". 1985, nr 8.

[9] Kainz A. i in.: A New Concept for Electronic Diesel Engine Control. SAE Techn.Pap.Ser. nr 860141/1986.

[10] Komiyama K. i in.: KOMPICS on a High BMEP Engine. SAE Techn.Pap.Ser. nr 840513/1984.

[11] Lucas G. i in.: Microprocessor Controlled Fuel Injection for Automotive Diesel Engines. SAE Techn.Pap.Ser. nr 30576/1983.

[12] Maynard A.: A New Electronicaly Controlled Injection Pump for Diesels. SAE Techn.Pap.Ser. nr 850169/1985.

[13] Shiozaki M. i in.: Development of a Fully Capable Electronic Control System for Diesel Engines. SAE Techn.Pap.Ser. nr 850172/1985.

[14] Schechter M., Asik J.: Direct Fuel Injection with Electromagnetic Spill Control-investigation with the EME-4 Pump. SAE Techn.Pap.Ser. nr 840308/1984.

[15] Schwartz R.: High-pressure Injection Pumps with Electronic Control for Heavy-duty Diesel Engines. SAE Techn.Pap.Ser. nr 850170/1985.

[16] Wakabayashi M. i in.: Isuzu New 12.0L Micro-computer Controlled Turbocharged Diesel Engine. SAE Techn.Pap.Ser. nr 840510/1984.

[17] Weseloh W.: EEC IV Full Authority Diesel Fuel Injection Control. SAE Techn.Pap.Ser. nr 861098/1986.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Czesław Kordziński

Wpłynęło do Redakcji 11.05.1987 r.

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ВПРЫСКИВАЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЕЙ ZS ЧАСТЬ II

Р е з ю м е

Во второй части статьи оговорены те направления развития впрыскивающей аппаратуры, у основания которых лежит использование электронных систем управления впрыскиванием в двигателях ZS.

Вначале представлены основные критерия оценки параметров работы впрысковой аппаратуры на фоне предъявляемых ей требований. Дано общее описание проблем, связанных с применением электронных систем управления впрыскиванием в до сих пор применяемых и специально для этих целе конструированных впрыскивающих систем.

Для каждого напрвления развития впрыской аппаратуры даны примеры решений, где кроме идейных систем управления развития впрыской аппаратуры даны примеры решений, где кроме идейных систем управления приведены параметры работы впрысковой системы и достигнутые изменения важнейших эксплуатационных показателей двигателя. В большинстве случаев приведены параметры двигателя и машин, имеющие влияние на устанавливаемые и регулируемые электронной системой управления параметры впрыска топлива.

В конце работы подведены итоги по новейшим решениям питающих систем и электронных систем управления двигателей.

DIRECTIONS OF THE DEVELOPMENT OF DIESEL ENGINE INJECTION APPARATUS - PART II

S u m m a r y

In the Part II of the paper the development directions of injection apparatus which are based on using electronic control system of the injection in diesel engines have been presented.

First of all some fund amental evaluation criteria of the injection apparatus operating conditions in the light of the demands made at presented. Problems connected with application of the injection control electronic systems in the injection systems used so far and specially designed for these purposes have been described in general.

Each of the injection apparatus development directions is supported by the examples of solutions in which besides the schematic block of the control system the injection system operating parameters as well as obtained changes of the most important operating indexes of the engine have mentioned. In majority of the examples, parameters of the engine and vehicle exerting an influence on the fuel injection parameters determined and controlled by the electronic control system have been stated.

Last of all some solutions that had suggested theirselves to the author after having got to konw the newest solutions of the feed systems and diesel engine electronic control systems have been presented.