

Henryk KRÓL

Zakład Silników Spalinowych ITC
Politechniki Śląskiej w Gliwicach

BADANIA SILNIKA SPALINOWEGO 115 C WYPOSAŻONEGO
W ELEKTRONICZNY STEROWNIK DAWKI - WSPÓŁPRACUJĄCY
Z GAŹNIKIEM ULTRADŹWIĘKOWYM

Streszczenie. W artykule omówiono dalsze prace nad zasilaniem silników spalinowych o zapłonie iskrowym za pomocą gaźników ultradźwiękowych, które rozpoczęto w Zakładzie Silników Spalinowych w 1976 r. Rozwój tych prac dotyczy możliwości niezależnego sterowania dawki powietrza i paliwa, mających na celu uzyskanie jakościowego zasilania wymienionych wyżej silników. Regulację ilości powietrza i wielkości dawki paliwa przeprowadza się obecnie za pomocą specjalistycznego komputera samochodowego.

Prace nad gaźnikami ultradźwiękowymi prowadzone są w Zakładzie Silników Spalinowych Politechniki Śląskiej od 1976 roku. W tym czasie wykonano ponad sto różnego rodzaju rozpylaczy ultradźwiękowych oraz wiele prototypów gaźnika. Dla pełnego wykorzystania możliwości niezależnego sterowania dawki powietrza i paliwa regulację tę przeprowadza się obecnie za pomocą specjalistycznego komputera samochodowego. Takie sterowanie pozwala na prowadzenie daleko idących obserwacji z zakresu jakościowego zasilania silników ŻI. W pracy zamieszczono omówienie wyników kilkudziesięciu pomiarów wykonanych z zastosowaniem ostatniej, trzeciej wersji komputera samochodowego.

Wiadomo, że sposób przygotowania mieszanki palnej w silnikach z zapłonem iskrowym wywiera duży wpływ na przebieg procesu spalania w silniku oraz na jego sprawność. W 1976 roku w Zakładzie Silników Spalinowych Politechniki Śląskiej zaczęto pracować nad nowym typem gaźników, zapewniającym pełne odparowanie kropli paliwa jeszcze przed jej wlotem do kolektora dolotowego

[1].

Wykonano około 100 prototypów rozpylaczy ultradźwiękowych i 20 wersji gaźników - dostosowanych do współpracy z silnikami samochodów F 125 i F 126 [2].

Rozpylanie paliwa zachodzi na powierzchni czołowej rozpylacza ultradźwiękowego, przy czym aerozol jest quasi-monodyspersyjny o średnicach kropli rzędu 5 [μm]. Krople te mieszając się z powietrzem dozowanym przez przepustnicę odparowują tworząc jednorodną mieszanekę palną [3]. Ilość rozpylo-

nego paliwa jest niezależna od przepływu powietrza, dawkowanie może być przeprowadzone niezależnie, przy oparciu się na dowolnie wybranym algorytmie.

W celu zapewnienia maksymalnej uniwersalności badań zdecydowano się na wykorzystanie elektronicznego zadajnika wydajności paliwa rozpylanego. Jako impulsy sterujące wybrano:

- M_o , moment chwilowego obciążenia silnika mierzony momentomierzem,
- n , prędkość obrotową silnika mierzoną przetwornikiem impulsowym,
- t , temperaturę silnika, mierzoną przetwornikiem na bazie tranzystora,
- z , przełącznik algorytmu obliczeniowego zmieniający kryteria optymalności, np. kryterium minimum zużycia paliwa lub maksymalnej mocy.

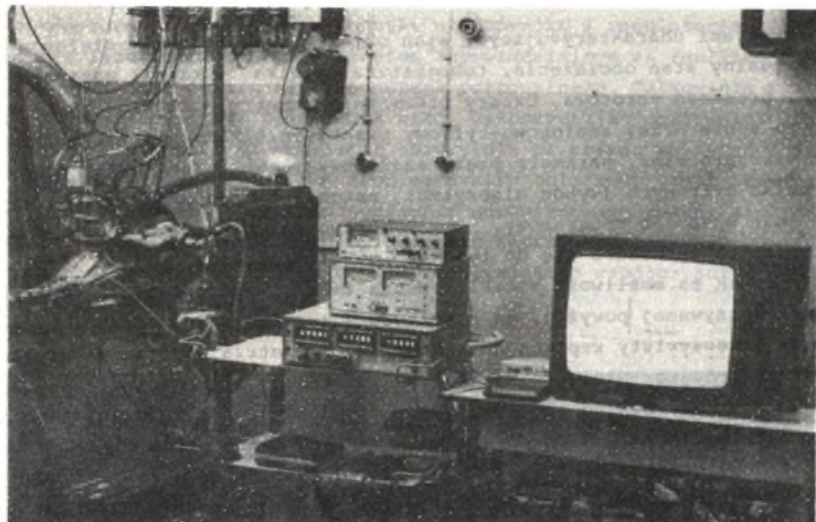
Na podstawie wymienionych powyżej parametrów w komputerze samochodowym MASTER S^x oblicza się optymalną dla danych warunków pracy silnika wartość składu mieszanki (λ_{opt}).

Przeprowadzona równocześnie analiza gazu wylotowego (za pomocą analizatora CO/CO₂ lub sondy λ (Bosch) określa pośrednią wartość rzeczywistego λ_{rz} . Te dwie wartości współczynnika nadmiaru powietrza λ są ze sobą porównywane i ich różnica jest sygnałem sterującym, zmieniającym odpowiednio wydajność rozpylacza - zasilanego z pompy elektrycznej (rys. 1).

Algorytm sterowania dawką paliwa do gaźnika ultradźwiękowego jest dość złożony, ze względu na kilkanaście iloczynów i bazuje na wielu parametrach charakteryzujących chwilowy stan obciążenia silnika. Do wyznaczania sygnału sterującego w takim przypadku konieczny jest układ pomiarowo-sterujący, o charakterze ciągłym lub dyskretnym, dostatecznie tak szybkim, aby sterowany układ mechaniczny traktował przebieg jako ciągły. Jako granicę szybkości przyjęto w badaniach zmianę całego zakresu dowolnego parametru wejściowego przypadająca na 100 ms, przy czym układ sterujący powinien działać płynnie. Wynika z tego, że częstotliwość próbkowania sygnałów wejściowych z wszystkich czujników pomiarowych musi być wyższa od 1 kHz. Przy takim doborze częstotliwości pracy układu sterującego zostaje ujęta w obliczeniach zmiana każdego z sygnałów wejściowych o 1% przedziału zmienności. Biorąc pod uwagę szybkości zmian wielkości elektrycznych charakteryzujących stan obiektu mechanicznego, przyjęte granice częstotliwościowe są wystarczające.

Zagadnienie sprowadza się do konstrukcji układu regulatora śledzącego zmiany stanu obiektu, wyznaczającego sterowanie według założonego algorytmu. Doskonale do tego celu nadaje się system regulacyjny, bazujący na technice mikroprocesorowej.

^x Komputer sterujący MASTER S został wykonany przez mgr. Andrzeja Mitasa, pracownika Wydziału Automatyki i Elektroniki Politechniki Śląskiej.



Rys. 1. Widok silnika wraz z elektronicznym sterownikiem w wersji laboratoryjnej

Fig. 1. View of the motor with electronic steering in laboratory version

Zaproponowana struktura dzieli się funkcjonalnie na następujące bloki:

- a) układ buforujący wejść analogowych,
- b) układ wielokanałowego przetwornika analogo-cyfrowego,
- c) układ obliczeniowy o charakterze informatycznym, realizujący zadany algorytm matematyczny,
- d) układ przetwornika cyfrowo-analogowego,
- e) układ buforujący o charakterze wzmacniacza mocy, połączony bezpośrednio z elementem wykonawczym.

Z racji badawczego charakteru zagadnienia, należało w konstrukcji systemu skójarzyć dokładność pomiarów i obliczeń z szybkością działania. Z punktu widzenia użytkownika najcenniejszą bodaj właściwością powinna być możliwość precyzyjnego śledzenia zmian stanu układu regulacyjnego, a także możliwość łatwej ingerencji w przebieg obliczeń przez zadawanie, w zastępstwie czujników pomiarowych, wartości sygnałów wejściowych i deklarowanie konfiguracji połączenia czujników pomiarowych ze sterowanym obiektem. Kryterium nadrzędnym nad poprzednimi dwoma było oparcie się na elementach tanich i łatwo dostępnych, najlepiej produkcji krajowej.

W wyniku analizy problemu powstał system dwuprocesorowy, z możliwością podłączenia mikrokomputera personalnego. Taka konfiguracja umożliwia podział zadań na poszczególne podzespoły, przy czym zadania te mogą być wykonywane jednocześnie. Tak więc jeden system mikroprocesorowy wchodzący w skład regulatora zajmuje się przetwarzaniem analogowych wielkości wejścio-

wych do postaci cyfrowej oraz wstępna obróbka matematyczną przetworzonej informacji.

Parametrami charakteryzującymi stan obiektu regulacji są: stężenie CO , CO_2 , aktualny stan obciążenia, temperatura silnika, wskaźnik wariantu algorytmu i prędkość obrotowa. Cztery pierwsze parametry przetwarzane są kolejno po sobie przez analogowo-cyfrowy przetwornik kompensacyjny, sterowany przez mikroprocesor, parametr piąty analizowany jest przez układ równoległych wejść cyfrowych (wybór algorytmu), natomiast prędkość obrotowa wyznaczana jest w sposób programowy, z wykorzystaniem systemu przerwań mikroprocesora, co sprowadza się do typowego pomiaru okresu.

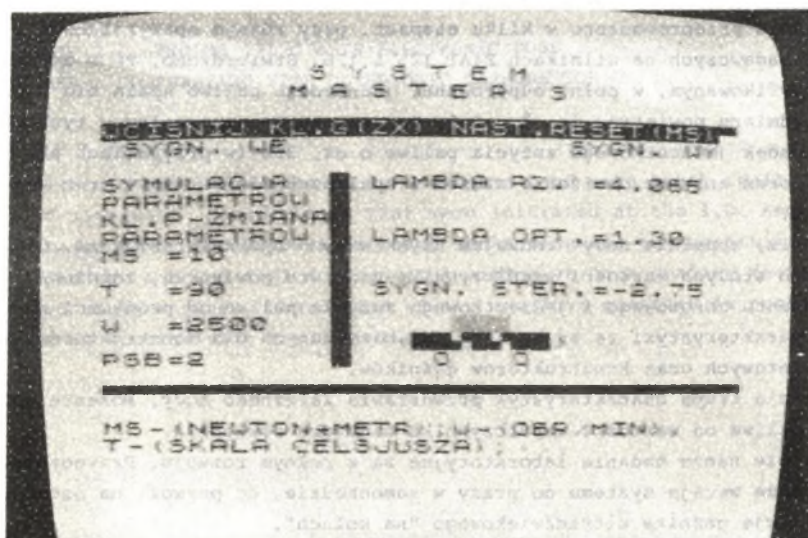
Użytkownik ma możliwość zadeklarowania zmiany konfiguracji układu pomiarowego z opisywanej powyżej, na strukturę z zastosowaniem sondy lambda analizującej rzeczywisty współczynnik nadmiaru powietrza. System mikroprocesorowy przetwarzający wielkości wejściowe próbkuje z częstością równą w przybliżeniu 1,5 kHz. Dokładność jego pracy wyznaczona jest rozdzielczością układu przetwarzania C/A. W rozwiązaniu zaproponowano przetwornik ośmiobitowy, co daje granicę dokładności lepszą od 0,5%. Stosowanie dokładniejszego przetwornika jest uzasadnione ze względu na dokładności czujników pomiarowych. Dokładność wstępnego przetworzenia numerycznych zmierzonych wartości jest o rząd lepsza od poprzedzających go etapów, więc wpływ tej części regulatora jest pomijalnie mały.

Wstępnie przetworzone wyniki pracy układu pomiarowego przenoszone są do drugiego systemu mikroprocesorowego, z wykorzystaniem jego układu przerwań, co zapewnia maksymalną szybkość tej transmisji. System ten jest typowym mikrokomputerem obliczeniowym. Jego zadaniem jest wykonanie działań matematycznych według zadeklarowanego algorytmu, prowadzące do wyznaczenia wartości sygnału sterowania obiektem regulowanym. Podczas gdy pierwszy system zajmuje się analizą analogowych sygnałów wejściowych, drugi wykonuje obliczenia. Szybkość obliczeń jest równa w przybliżeniu szybkości pracy systemu pomiarowego. Dokładność, podobnie jak przy wstępnym przygotowaniu danych, jest o rząd lepsza od dokładności stopnia przetwarzania. Wyznaczona matematycznie wartość sterowania jest parametrem wyjściowym dziesięciobitowego przetwornika cyfrowo-analogowego, stanowiącego pierwszy stopień wyjściowy regulatora.

Z tego przetwornika sygnał kierowany jest do separującego wzmacniacza mocy. Zadaniem tego ostatniego jest dopasowanie parametrów sygnału sterującego do wymagań narzuconych przez zastosowany układ wykonawczy. Poza tym ma on za zadanie odseparowanie kosztownego układu regulatora od sterowanego obiektu.

Przedstawiony opis ilustruje skojarzenie realizacji wymagań dokładności, szybkości i dostępności elementów. Ostatnie kryterium ujawnia się w tym, że struktura regulatora jest dwupoziomowa, z podziałem zadań. Innym rozwiązaniem, jakościowo równorzędnym, byłoby zastosowanie w miejsce dwóch ośmiobitowych mikroprocesorów typu MCY 7880 jednego szesnastobitowego typu INTEL 8086.

Oprócz obliczeń i współpracy z przetwornikiem cyfrowo-analogowym, drugi system mikroprocesorowy zapewnia kontakt użytkownika z regulatorem. Zaproponowano rozwiązanie, w którym elementem odpowiedzialnym za realizację takiej możliwości jest system mikrokomputera personalnego. Całkowicie wystarczającym do tego celu jest ZX-81. Tak więc, wykorzystując możliwości graficzne ZX-81, użytkownik ma możliwość obserwacji przebiegu zmienności wszystkich parametrów mierzonych, jak również wyniku obliczeń, czyli sterowania obiektem. Można również, przez wprowadzenie odpowiedniego komunikatu z klawiatury mikrokomputera personalnego, zmieniać konfigurację układu pomiarowego z pomiaru stężeń CO , CO_2 na pomiar rzeczywistego współczynnika nadmiaru powietrza (i odwrotnie).



Rys. 2. Graficzna ilustracja stanu obiektu i przebiegu obliczeń
Fig. 2. Graphic illustration of the object state and calculation course

Poza tym, co jest niezwykle istotne na etapie badań eksperymentalnych na obiekcie, użytkownik może deklarować z klawiatury wartości poszczególnych parametrów wejściowych. Gdy użytkownik narzuci stałą wartość na dowolną wielkość wejściową, całkowicie pomijany jest pomiar tej wielkości, a w algorytmie obliczeniowym uwzględniana jest wyłącznie wartość wyprowadzona z klawiatury.

Współpraca między dwuprocesorowym regulatorem i mikrokomputerem personalnym sprowadza się do transmisji z ZX-81 do MASTER-a wartości deklarowanych z klawiatury oraz z MASTER-a do ZX-81 wyników charakteryzujących stan regulatora. Wartości te przekazywane są w najprostszej postaci, po czym System personalny przetwarza otrzymane informacje i dokonuje ich prezenta-

cji na ekranie monitora. Tak więc trzeci system mikroprocesorowy pracuje współbieżnie z dwoma pozostałymi. Problem kontaktu ZX-81 z MASTER S rozwiązano przy wykorzystaniu stanu oczekiwania mikroprocesora systemu obliczeniowego, na drodze obsługi programowej.

Godnym podkreślenia jest fakt, że system MASTER S może pracować całkowicie autonomicznie i nie wymaga żadnych ingerencji ze strony użytkownika. Gdy nie podłączy się systemu indykacyjnego ZX-81 po czasie 1 s od chwili włączenia zasilania - MASTER S akceptuje stan pracy autonomicznej, wówczas automatycznie ustawiany jest tryb pracy na pomiar rzeczywistego współczynnika nadmiaru powietrza.

Współpraca z systemem indykacyjnym narzuca ograniczenie częstotliwości do 1 kHz. Tak więc również w takiej konfiguracji zapewniona jest założona szybkość i dokładność pracy układu.

Badania przeprowadzono w kilku etapach, przy różnym oprzyrządowaniu stanowisk badawczych na silnikach FIAT 125 i 126. Stwierdzono, że w silniku niezmodyfikowanym, w pełni odparowane, jednorodne paliwo spala się w warunkach nadmiaru powietrza do $\lambda = 1,5$. Towarzyszy temu normalny w tych warunkach spadek jednostkowego zużycia paliwa o ok. 30% (w przypadkach skrajnych o 55%) oraz znaczne obniżenie stężeń w spalinach tlenu węgla oraz węglowodorów.

Drugim, zupełnie nowym rodzajem uzyskiwanych charakterystyk są, dla założonych stałych wartości współczynnika nadmiaru powietrza, zależności mocy, momentu obrotowego i jednostkowego zużycia paliwa od prędkości obrotowej. Charakterystyki te są wartościową bazą danych dla konstruktorów układów dolotowych oraz konstruktorów gaźników.

Trzecia grupa charakterystyk przedstawia zależność mocy, momentu lub zużycia paliwa od wartości współczynnika nadmiaru powietrza.

Obecnie nasze badania laboratoryjne są w pełnym rozwoju. Przygotowywana jest także wersja systemu do pracy w samochodzie, co pozwoli na ostateczną weryfikację gaźnika ultradźwiękowego "na kołach".

LITERATURA

- [1] Król H.: Koncepcja i badanie gaźnika ultradźwiękowego dla silników spalinowych z zapłonem iskrowym. Praca doktorska ITC Pol. Śl., Gliwice 1982.
- [2] Król H., Wacowski J.: Próba zmniejszenia zużycia paliwa silnika FIAT 115 C poprzez zastosowanie gaźnika ultradźwiękowego drugiej generacji. Akustyka molekularna i kwantowa. I PPT PAN Inst. Fiz. Pol. Śl., Warszawa 1983, t. 4, s. 181-185.
- [3] Król H.: Gaźnik silników spalinowych z zapłonem iskrowym. Patent PRL nr 124322 z 30.11.1979 r.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Czesław Kordziński

Wpłynęło do Redakcji w czerwcu 1987 r.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ГАЗ С СВАЛЕНКОГО И ЭЛЕКТРОННОЕ
ДОСИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВО СОДЕЙСТВУЮЩЕЕ С УЛЬТРАЗВУКОВЫМ КАРБЮРАТОРОМ

Резюме

В статье оговорены дальнейшие работы по подаче топлива для двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием при помощи ультразвуковых карбюраторов. Работы эти проводились в Отделении Двигателей Внутреннего Сгорания начиная с 1976 г. Развитие этих работ касается возможности независимого управления дозой воздуха и топлива, с целью получения качественного питания упомянутых двигателей. Регулировку количества воздуха и величин для топлива, производится в настоящее время при помощи специализированного автомобильного компьютера.

STUDIES OF I.C. ENGINE 115 C WITH ELECTRONIC DOSE
CONTROLLER - COOPERATING WITH ULTRASONIC CARBURETTOR

Summary

The article presents works on I.C. engines feed with spark ignition by means of ultrasonic carburettors that were initiated at the I.C. Engines Institute in 1976. Development of these works concerns the possibilities of independent air and fuel dose control aiming at high quality feed of mentioned above engines. Regulation of air and fuel quantity is controlled by means of specialistic car computer.