

WPLYW PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ I OBCIĄŻENIA SILNIKA NA PRZEBIEG NAPIĘCIA IMPULSU STERUJĄCEGO WTRYSKIWACZAMI PŁYNNEGO GAZU ROPOPOCHODNEGO

Andrzej BORAWSKI*, Franciszek SIEMIENIAKO*

*Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 C, 15-351 Białystok

andrzejb830616@wp.pl, frank@pb.edu.pl

Streszczenie: W tekście pokazano zmiany przebiegu napięcia na wtryskiwaczach LPG w zależności od prędkości obrotowej silnika i jego obciążenia. Wykonano szereg badań i dokonano analizy otrzymanych wyników. Zaproponowano rozwiązania mogące wpłynąć na poprawę jakości pracy wtryskiwaczy LPG.

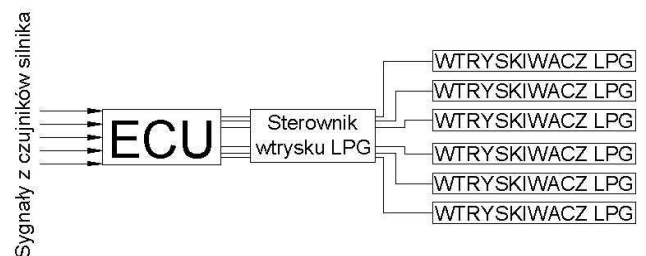
1. WPROWADZENIE

Już od dłuższego czasu, z racji ciągłego wzrostu kosztów oraz kończących się zasobów paliw konwencjonalnych (m.in. benzyny oraz oleju napędowego) inżynierowie poszukują substancji zastępczych. Jedną z nich to LPG, które jest obecnie najczęściej stosowanym paliwem alternatywnym wykorzystywanym do zasilania silników spalinowych.

Pojazd zasilany tym rodzajem paliwa wymaga zamontowania dodatkowego układu paliwowego, przystosowanego do spalania paliwa alternatywnego. Obecnie, w zdecydowanej większości przypadków, w samochodach osobowych montowane są sekwencyjne instalacje gazowe (czwartej generacji). Rzadziej, ale nadal, montowane są instalacje starszych generacji, nowsze natomiast, nie cieszą się jak na razie dużą popularnością, głównie ze względu na koszt montażu. Instalacja sekwencyjna różni się od poprzednich generacji tym, iż zastosowane w niej zostały wtryskiwacze (oddzielny dla każdego cylindra) oraz dodatkowa jednostka sterująca ich pracą, wykorzystująca w tym celu komputer sterujący wtryskiem benzyny. Komputer sterujący wtryskiem gazu umieszczony jest pomiędzy ECU (ang. Engine Control Unit) a wtryskiwaczami benzynowymi. Dzięki temu, sterownik gazu „przechwytuje” impuls wysyłany na wtryskiwacze benzynowe, mogąc go odciąć od nich i wykorzystać do stworzenia impulsu sterującego wtryskiem gazu, który to generowany może być na dwa sposoby. Sposób pierwszy polega na sterowaniu w czasie rzeczywistym, czyli otwarciu wtryskiwaczy LPG następuje dopiero po wygenerowaniu przez komputer sterujący pracą silnika (podczas zasilania benzyną) impulsu rozpoczynającego wtrysk benzyny. Czas otwarcia wtryskiwaczy gazu jest wyliczany indywidualnie dla każdego cyklu działania silnika. Rozwiązanie takie wymaga zastosowania szybkich sterowników, co jest szczególnie ważne przy dużych prędkościach obrotowych silnika, gdy czasy pomiędzy poszczególnymi wtryskami są bardzo małe. Sposób drugi opiera się na przewidywaniu czasu wtrysku LPG. Sterownik gazowy mierzy kilka poprzednich czasów otwarcia wtryskiwaczy benzyny i na podstawie uzyskanych danych wylicza przybliżony czas wtrysku gazu dla następnego cyklu. Rozwią-

zanie takie daje możliwość wprowadzania korekty przed pojawieniem się impulsu otwierającego wtryskiwacz benzyny, co jest ważne w przypadku gdy zastosowany sterownik nie jest wystarczająco „szybki” oraz gdy wtryskiwacze LPG nie mają najlepszych właściwości dynamicznych.

Sterowanie dawką paliwa w instalacji gazowej czwartej generacji jest dużo bardziej precyzyjne niż w instalacjach 1,2 i 3 generacji. Uproszczony schemat powstawania impulsu otwierającego wtryskiwacz gazowy pokazano na Rys. 1.



Rys. 1. Schemat powstawania impulsu otwierającego wtryskiwacze LPG

2. SCENARIUSZ BADAŃ

Badania eksperymentalne przeprowadzono z wykorzystaniem samochodu marki BMW z silnikiem M50B20 o pojemności skokowej 1991 cm³, przebiegu około 180000 km wyposażonego w instalację gazową czwartej generacji (Rys. 2). W skład tej instalacji wchodzi m.in.: sterownik Vector 6, reduktor Zavoli Zeta N, czujnik ciśnienia PS01 oraz wtryskiwacze Valtek 3ohm. Do badań wykorzystano oscyloskop firmy HD-Scope.

Badania przeprowadzono dla różnych prędkości obrotowych silnika i przy różnym jego obciążeniu.

Dla niewielkich obciążeń silnika (otwarcie przepustnicy około 20%), pomiary wykonano przy prędkości obrotowej silnika równej 1550 i 2100 obr/min. Przy obciążeniu mak-

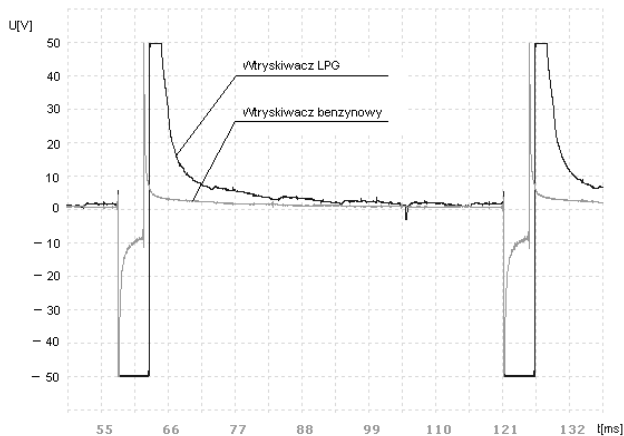
symalnym (pełne otwarcie przepustnicy), przebieg impulsu przebadano co 1000 obr/min zaczynając od 2000 obr/min.



Rys. 2. Silnik M50B20 wyposażony w sekwencyjną instalację LPG

3. WYNIKI BADAŃ

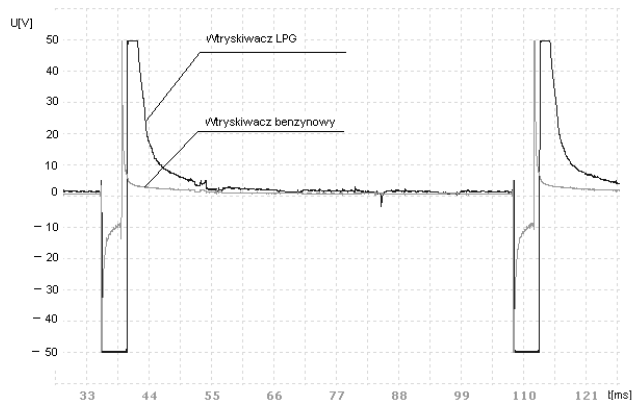
Przy ustalonej jeździe miejskiej (prędkości pojazdu około 50km/h, bieg trzeci, prędkość obrotowa silnika około 2100 obr/min) przebieg napięcia na wtryskiwaczu LPG pokazano na Rys. 3. Jak widać, w momencie gdy ECU wysła impuls na wtryskiwacz benzynowy, sterownik gazu odcina go, i wysła impuls na wtryskiwacz gazowy. Trwa on nieco dłużej niż impuls wysyłany z komputera sterującego pracą wtryskiwaczy benzynowych, co jest wynikiem wprowadzenia współczynników korygujących przez komputer gazu, koniecznych z racji odmiennych właściwości LPG. Wtrysk następuje co około 64 ms i trwa około 7 ms.



Rys. 3. Przebieg napięcia na wtryskiwaczu benzynowym (kolor szary) i LPG (kolor czarny) przy jeździe ustalonej (trzeci bieg, 50 km/h)

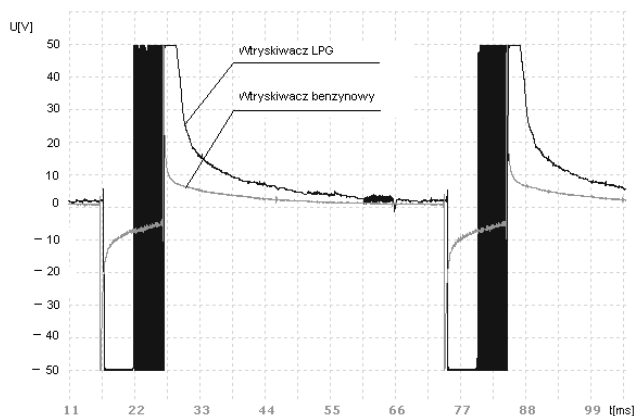
Po zmianie biegu na czwarty i zachowaniu tej samej prędkości obrotowej nastąpiło zmniejszenie prędkości obrotowej silnika do około 1550 obr/min. Jak widać na rysunku 4, zmianie uległ jedynie czas pomiędzy poszczególnymi wtryskami, a mianowicie uległ wydłużeniu do około 76 ms. Zarówno przebieg napięcia, jak i długość trwania impulsu otwierającego wtryskiwacz są zbliżone do przedstawionego na rysunku 3. Czas trwania impulsu wtrysku gazu jest

w obu przypadkach dłuższy o około 3 ms niż w przypadku układu zasilania benzyną.



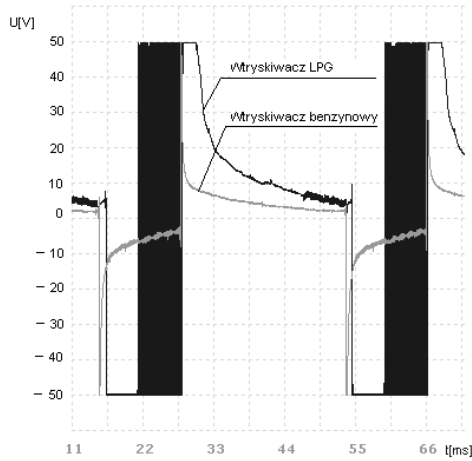
Rys. 4. Przebieg napięcia na wtryskiwaczu benzynowym (kolor szary) i LPG (kolor czarny) przy jeździe ustalonej (czwarty bieg, 50 km/h)

Przebiegi napięcia przy 2000obr/min oraz przy maksymalnym obciążeniu silnika pokazano na Rys. 5. Można zauważyć, iż czas trwania impulsu znacznie się wydłużył, do około 13 ms. Odstęp pomiędzy poszczególnymi impulsami wynosi około 59 ms. Różni się również przebieg napięcia w końcowej fazie, czyli w fazie zanikania impulsu. Jest on bardziej „płaski”, czyli wartość napięcia maleje wolniej niż w przypadku mniejszego obciążenia silnika. Można zaobserwować też minimalną zwłokę (około 1 ms) pomiędzy początkiem impulsu wysyłanego na wtryskiwacz benzynowy a gazowy.



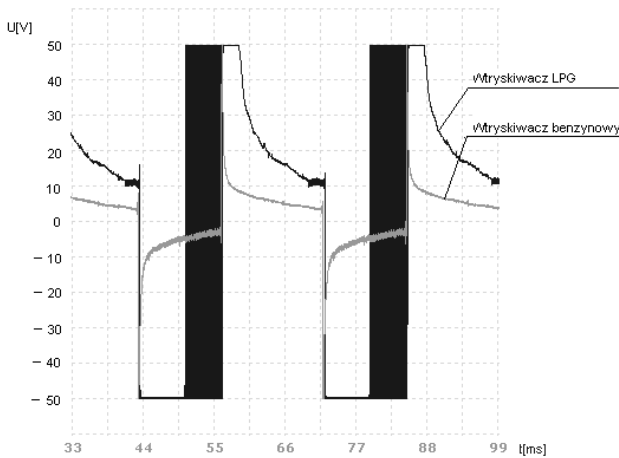
Rys. 5. Przebieg napięcia na wtryskiwaczu benzynowym (kolor szary) i LPG (kolor czarny) przy maksymalnym obciążeniu silnika i prędkości obrotowej 2000 obr/min

Gdy silnik osiągnął prędkości obrotową około 3000 obr/min (Rys. 6) nastąpiły dalsze zmiany w przebiegu napięć. Czas trwania impulsu otwierającego wtryskiwacz gazowy wydłużył się do około 14÷15 ms, natomiast czas pomiędzy poszczególnymi wtryskami uległ skróceniu do około 39 ms. Zwiększył się również odstęp pomiędzy początkiem impulsu wysyłanego na wtryskiwacz benzynowy a gazowy, bez zmian pozostaje natomiast różnica pomiędzy czasem trwania impulsu na wtryskiwaczu benzynowym a gazowym, która wynosi około 3 ms.



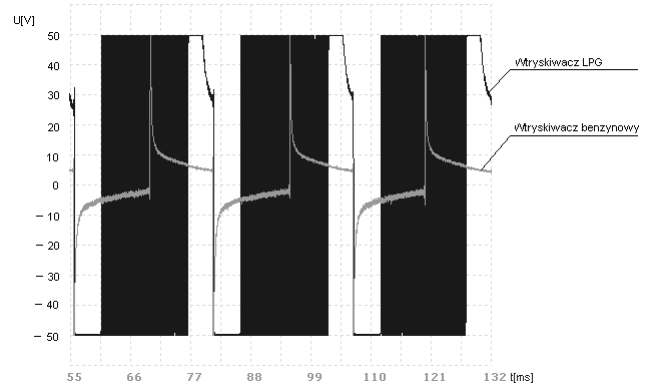
Rys. 6. Przebieg napięcia na wtryskiwaczu benzynowym (kolor szary) i LPG (kolor czarny) przy maksymalnym obciążeniu silnika i prędkości obrotowej 3000 obr/min

Po zwiększeniu prędkości obrotowej o kolejny 1000 obr/min, można zauważyć, iż napięcie na wtryskiwaczu gazowym nie spada do wartości zerowej (Rys. 7). Czas pomiędzy poszczególnymi wtryskami (28 ms) zmalał na tyle, że napięcie kolejnego cyklu wtrysku jest podawane na wtryskiwacz zanim nastąpi zanik napięcia cyklu wtrysku poprzedzającego. Do takiego stanu rzeczy przyczynia się również wydłużenie czasu trwania impulsu do około 16 ms.



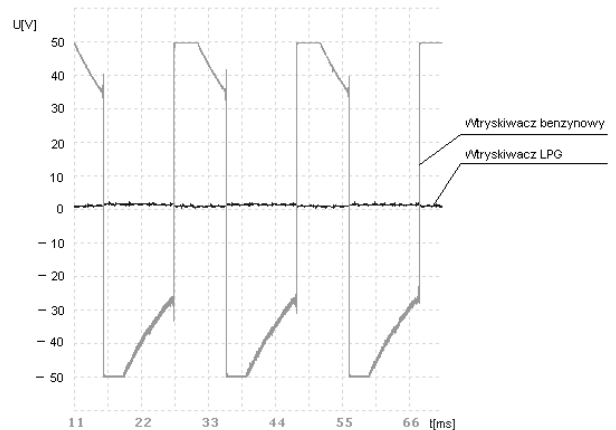
Rys. 7. Przebieg napięcia na wtryskiwaczu benzynowym (kolor szary) i LPG (kolor czarny) przy maksymalnym obciążeniu silnika i prędkości obrotowej 4000 obr/min

Przy 5000 obr/min impulsy następujących po sobie cykli prawie „nakładają się na siebie” (Rys. 8). Czas pomiędzy zakończeniem poprzedzającego impulsu a wysłaniem przez komputer instalacji gazowej następnego to zaledwie około 2÷3 ms. Przyczyną tego jest znaczne wydłużenie czasu trwania impulsu (do około 23÷24 ms) oraz skrócenie czasu pomiędzy początkami kolejnych cykli procesu wtrysku paliwa (do około 26 ms). Korekta wydłużająca czas otwarcia wtryskiwacza gazowego względem benzynowego również uległa zmianie, i wynosi ona aż około 10 ms. Wynikiem takiego przebiegu napięcia jest ciągłe otwarcie wtryskiwacza, czyli paliwo gazowe jest podawane w sposób ciągły do przewodów dolotowych silnika.



Rys. 8. Przebieg napięcia na wtryskiwaczu benzynowym (kolor szary) i LPG (kolor czarny) przy maksymalnym obciążeniu silnika i prędkości obrotowej 5000 obr/min

Jeżeli prędkość obrotową zwiększymy o kolejny 1000 obr/min zachowując pełne obciążenie silnika (Rys. 9) okazuje się, iż następuje zanik napięcia na wtryskiwaczach gazowych, a samochód zaczyna być zasilany benzyną. Oznacza to, że komputer sterujący zasilaniem gazowym nie jest w stanie prawidłowo sterować pracą układu paliwowego w powyższych warunkach działania silnika i odcina dopływ paliwa gazowego.



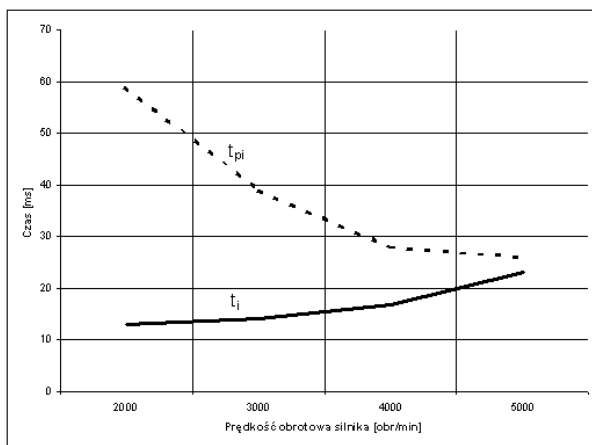
Rys. 9. Przebieg napięcia na wtryskiwaczu benzynowym (kolor szary) i LPG (kolor czarny) przy maksymalnym obciążeniu silnika i prędkości obrotowej 6000 obr/min

4. PODSUMOWANIE

Wyniki uzyskane z przeprowadzonych badań, pokazują wpływ zarówno prędkości obrotowej silnika jak i jego obciążenia na przebieg napięcia na wtryskiwaczach gazowych. W przypadku niewielkich obciążeń silnika, nawet przy jego dużych prędkościach obrotowych, jakość pracy komputera sterującego pracą wtryskiwaczami gazowymi jest zadowalająca. Inaczej rzecz się ma jeżeli obciążenie silnika jest zbliżone do maksymalnego lub maksymalne. Przy prędkościach obrotowych poniżej 4000 obr/min sterowanie można uznać za prawidłowe, natomiast przy wyższych prędkościach pojawia się problem zachodzących na siebie kolejnych cykli wtrysku LPG, i przy prędkości około 5000 obr/min można założyć, że wtryskiwacze gazowe są cały czas otwarte. Zjawisko takie ma zdecydowanie negatywny wpływ zarówno na trwałość instalacji gazo-

wej, zużycie gazu, jak i na parametry jezdne pojazdu. Częste i długie impulsy podawane na wtryskiwacze gazowe powodują, iż cewki wtryskiwaczy generują duże ilości ciepła, które doprowadzić może do trwałego uszkodzenia wtryskiwacza. Nie zamykanie się iglicy wtryskiwacza LPG powoduje również spadek ciśnienia gazu w instalacji, co z kolei skutkuje zubożeniem mieszanki paliwowo-powietrznej dostarczanej do komory spalania i w efekcie zmniejszenie mocy silnika.

Czas pomiędzy wysłanymi przez komputer instalacji gazowej impulsami oraz czas trwania impulsów w funkcji prędkości obrotowej silnika, przy pełnym jego obciążeniu, pokazano na Rys. 10.



Rys. 10. Zależność czasu pomiędzy impulsami (t_{pi}) oraz czasu trwania impulsu (t_i) a prędkością obrotową silnika przy pełnym obciążeniu

Pomiędzy prędkością 5000 obr/min a prędkością 6000 obr/min następuje zrównanie się czasu trwania impulsu otwierającego wtryskiwacz gazowy z czasem pomiędzy poszczególnymi cyklami wtrysku i następuje wyłączenie instalacji gazowej. Silnik zasilany jest wówczas benzyną, o czym kierowca nie jest informowany.

Aby rozwiązać owe problemy konieczna jest modyfikacja konstrukcji instalacji gazowej. Modyfikacja ta mogłaby polegać np. na zastosowaniu dodatkowej pompy gazu, przez co możliwe byłoby skrócenie czasu wtrysku, lub zastosowaniu układu chłodzenia wtryskiwaczy odprowadzającego ciepło powstające w cewkach. Chłodzenie umożliwiłoby wyposażenie wtryskiwaczy w inne cewki, generujące większe pole elektromagnetyczne, a co za tym idzie, mogłyby one szybciej otwierać wtryskiwacz. W rozwiązaniu takim wykorzystano by również sprężyny o większej sztywności, pozwalające dużo szybciej zamknąć wtryskiwacz. Paliwo gazowe można by wtedy dostarczać szybciej i dużo bardziej precyzyjnie.

LITERATURA

1. **Borawski A., Wituszyński K.** (2010), *Problemy sterowania pracą wtryskiwaczy LPG*, Konferencja Silniki Gazowe 2010, Częstochowa.
2. **Majerczyk A., Taubet S.** (2006), *Układy zasilania gazem propan-butan*. WKŁ, W-wa.
3. **Merkisz J., Pielacha I.** (2004), *Alternatywne paliwa i układy napędowe pojazdów*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2004.
4. Informator techniczny BOSCH, Sterowanie silników o zapłonie iskrowym, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2004.

INFLUENCE OF ENGINE SPEED AND LOAD ON PROCESS OF VOLTAGE OF IMPULSES THAT CONTROLS LPG INJECTORS

Abstract: In article there were shown changes in process of voltage in LPG injectors depending on engine speed and load. The number of researches and analysis of the results has been made. New solution, that could make the quality of LPG inject better, were suggested.