

METODYKA POMIARU PARAMETRÓW ELEKTRYCZNYCH WYSTEROWANIA WTRYSKIWACZA BENZYNY W SYSTEMIE GDI

W artykule omówiono metodykę pomiaru napięcia i prądu zasilającego wtryskiwacz benzyny w systemie wtrysku bezpośredniego GDI. Przedstawiono także przykładowe wyniki pomiarów wykonanych przy różnych czasach wysterowania wtryskiwacza. Duże wartości chwilowe napięcia i prądu zasilającego tego typu wtryskiwacz - znacznie różniące się od wartości dla wtryskiwacza systemu wtrysku pośredniego – wymagają odpowiedniej metodyki pomiarowej. Temu problemowi poświęcony został niniejszy artykuł.

WSTĘP

Wtryskiwacze stosowane w systemie bezpośredniego wtrysku benzyny mają za zadanie dostarczenie wymaganej dawki paliwa do cylindra silnika pod znacznie wyższym ciśnieniem i w znacznie krótszym czasie niż ma to miejsce w systemie wtrysku pośredniego. Realizacja tego zadania wymaga dużo większych sił do sterowania zaworami wtryskiwaczy co przekłada się na potrzebę dostarczania odpowiednio dużej energii do ich cewek w krótkim czasie. Jedynie przepływ dużego prądu przez cewkę wtryskiwacza zapewni energię odpowiednią do sterowania jego zaworem. Cewka wtryskiwacza z elektrycznego punktu widzenia ma charakter indukcyjny, zatem prąd płynący przez nią narasta w czasie. Wymuszenie prądu zapewniającego w krótkim czasie otwarcie zaworu wtryskiwacza wymaga przyłożenie napięcia kilkukrotnie wyższego od zasilającego instalację samochodu. Za zapewnienie właściwego wysterowania wtryskiwaczy w samochodzie odpowiada tzw. „injector driver”. Układ ten posiada wbudowany system kontroli parametrów wysterowania wtryskiwaczy, który dobrze sprawdza się w przypadku typowych uszkodzeń. W diagnostyce nietypowych uszkodzeń wtryskiwaczy oraz systemu ich zasilania przydatna będzie znajomość prawidłowego przebiegu napięcia i prądu w cewkach.

W artykule zaprezentowano metodę pomiaru parametrów elektrycznych (napięcia i prądu) wtryskiwacza w systemie wtrysku bezpośredniego oraz wartości tych parametrów dla kilku charakterystycznych punktów pracy silnika.

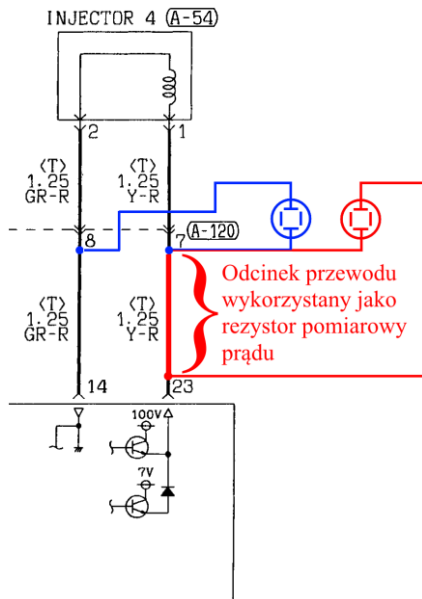
1. METODYKA POMIARU

Ze względu na szybkość działania wtryskiwacza w systemie GDI (krótkie czasy wtrysku) należy spodziewać się dużej wartości prądu płynącego przez cewkę wtryskiwacza. Prąd musi też odpowiednio szybko narastać aby w krótkim czasie otworzyć zawór wtryskiwacza. Szybki wzrost prądu przy określonej indukcyjności cewki wtryskiwacza można wymusić podwyższonym napięciem. Zatem przy pomiarze należy spodziewać się napięcia kilkukrotnie wyższego niż w instalacji elektrycznej samochodu. Z tego względu należy odpowiednio dopasować układ wejściowy urządzenia pomiarowego np. poprzez zastosowanie odpowiedniej sondy z podziałem napięcia bądź zastosowanie rezystorowego dzielnika napięcia. Należy także pamiętać, że przy wyłączeniu prądu pojawiać mogą się przepięcia w przeciwnym do napięcia zasilającego kierunku.

Prąd można zmierzyć jako spadek napięcia na rezystorze włączonym szeregowo z wtryskiwaczem. Jednak włączanie dodatkowej rezystancji w obwód wtryskiwacza może zakłócić jego wysterowanie. Biorąc to pod uwagę oraz spodziewaną dużą wartość prądu można zmierzyć go jako spadek napięcia na bardzo małej wartości rezystancji włączonej szeregowo z wtryskiwaczem, którą stanowi przewód zasilający wtryskiwacz. Przewód ten w samochodzie Mitsubishi Carisma z silnikiem GDI ma przekrój 1,25mm² i długość ok. 1m. Stanowi zatem rezystor o rezystancji rzędu kilkunastu miliohmów.

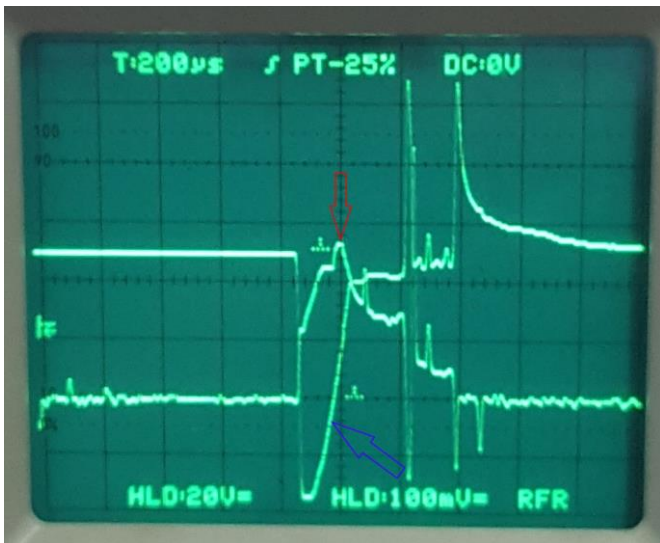
1.1. Sposób pomiaru z wykorzystaniem oscyloskopu dwukanałowego

Urządzeniem do wstępnego pomiaru napięcia i prądu zasilającego wtryskiwacz jest oscyloskop dwukanałowy. Jeden z kanałów posłuży do obserwacji napięcia na wtryskiwaczu a drugi prądu. Należy wziąć pod uwagę fakt, iż w wielu oscyloskopach obydwa kanały mają wspólną tzw. masę i uwzględnić to w projektowaniu stanowiska pomiarowego. Dla potrzeb badań do niniejszego artykułu zaprojektowano i zbudowano stanowisko pomiarowe. Jest nim zmodyfikowana instalacja elektryczna samochodu Mitsubishi Carisma. Modyfikację i podłączenie oscyloskopu pokazano na rys. 1. Jest to fragment schematu instalacji samochodu przedstawiający podłączenie wtryskiwacza czwartego cylindra do „injector drivera”. Modyfikacja ta polegała na podłączeniu po dwa dodatkowe przewody (koloru czerwonego na rysunku) do dwóch punktów jednego przewodu zasilającego jeden wtryskiwacz (4-go cylindra). Jeden z punktów (koloru czerwonego na rysunku) znajduje się w odległości kilku centymetrów od „injector drivera”, natomiast drugi punkt (koloru niebieskiego na czerwonym przewodzie) znajduje się w odległości kilku centymetrów od złącza wtryskiwacza. Kolejnym elementem modyfikacji jest podłączenie piątego przewodu (koloru niebieskiego na rysunku) do drugiego przewodu zasilającego wtryskiwacz w odległości kilku centymetrów od złącza wtryskiwacza. Połączenia kolorem niebieskim na rysunku służą do obserwacji i pomiaru napięcia na wtryskiwaczu a kolorem czerwonym do obserwacji i pomiaru prądu płynącego przez cewkę wtryskiwacza. Masę oscyloskopu podłączono do punktu, który na rysunku jest w kolorze niebieskim a podłączenie wykonane jest linią w dwóch kolorach. Takie podłączenie nie powoduje zwarcia w obwodzie wtryskiwacza ale jeden z obserwowanych sygnałów będzie odwrócony w stosunku do drugiego co jest wynikiem sposobu podłączenia.



Rys. 1. Schemat fragmentu układu wtryskowego przedstawiający sposób podłączenia oscyloskopu dwukanałowego umożliwiający pomiar napięcia i prądu wtryskiwacza

Na rysunku 2 przedstawiono przykładowe przebiegi napięcia i prądu zarejestrowane oscyloskopem. Strzałka koloru niebieskiego wskazuje przebieg napięcia na wtryskiwaczu a strzałka koloru czerwonego przebieg prądu.



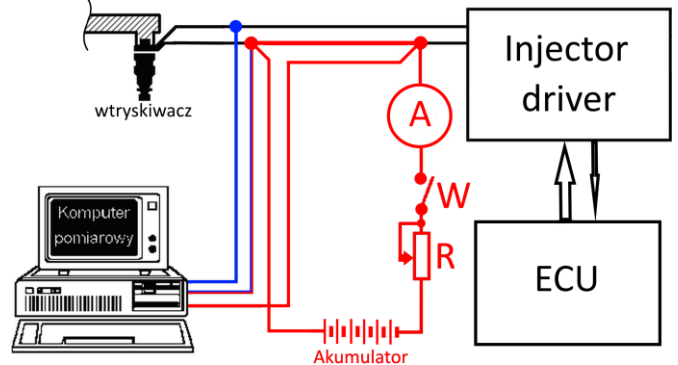
Rys. 2. Przebieg napięcia i prądu wtryskiwacza obserwowany za pomocą oscyloskopu dwukanałowego dla pracy silnika na biegu jałowym

Z zaobserwowanych na ekranie oscyloskopu przebiegów można określić następujące parametry wysterowania wtryskiwacza:

- czas wtrysku: $t_w \approx 2,6 \text{ cm} \cdot 200 \mu\text{s} / \text{cm} \approx 0,52 \text{ ms}$,
- maksymalne napięcie na wtryskiwaczu:
 $U_w \approx 4,3 \text{ cm} \cdot 20 \text{ V} / \text{cm} \approx 86 \text{ V}$,
- maksymalny spadek napięcia na rezystancji pomiarowej odpowiadający prądowi wtryskiwacza:
 $U_w \approx 2,7 \text{ cm} \cdot 100 \text{ mV} / \text{cm} \approx 270 \text{ mV}$

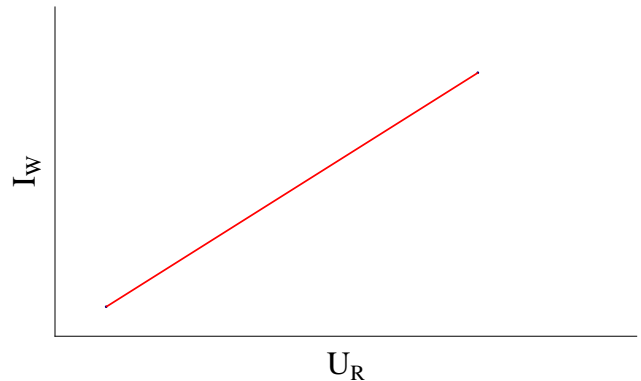
1.2. Sposób pomiaru z wykorzystaniem komputera pomiarowego

Korzystając ze wstępnych wyników pomiarów wykonanych oscyloskopem dwukanałowym zaprojektowano układ do pomiaru tychże wielkości za pomocą komputera pomiarowego. Komputer klasy IBM PC wyposażony jest w kartę przetworników A/C typ OCTOPUS CS8380 firmy GAGE o rozdzielczości 14-bitowej. Zastosowano ten sam sposób pomiaru jak w przypadku oscyloskopu dobierając zakresy pomiarowe dla prądu i napięcia oraz dzielnik napięcia do pomiaru napięcia. Układ rozbudowano o elementy umożliwiające kalibrację toru pomiaru prądu (rys. 3). Do tych samych punktów w torze pomiaru prądu włączono: amperomierz prądu stałego, rezystor suwakowy i akumulator jako źródło prądu.



Rys. 3. Komputerowy układ pomiarowy napięcia i prądu wtryskiwacza wraz z torze kalibracji rezystora (przewodu) pomiarowego prądu

Przy zamkniętym wyłączniku W za pomocą rezystora suwakowego ustawiono kilka wartości prądu w zakresie od 0 do 10A i zarejestrowano spadek napięcia na rezystorze (przewodzie) pomiarowym. Na tej podstawie wykreślono zależność prądu wtryskiwacza od spadku napięcia na przewodzie pomiarowym (rys. 4) i opisano ją równaniem.



Rys. 4. Zależność prądu wtryskiwacza od spadku napięcia na rezystancji przewodu pomiarowego

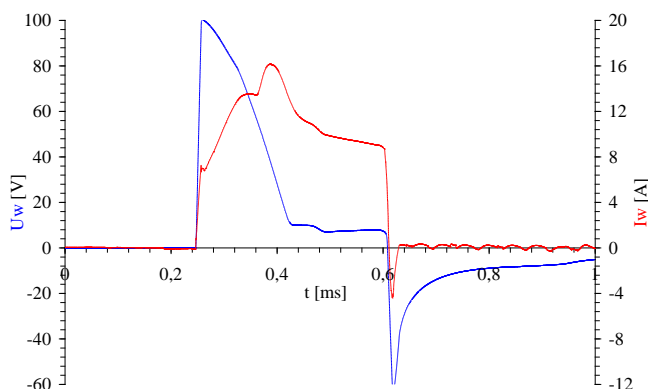
Zależność ta jest liniowa a jej matematyczny opis umożliwia wyznaczenie wartości prądu wtryskiwacza bez ingerencji (włączenia dodatkowej rezystancji) w obwód wtryskiwacza.

2. BADANIA

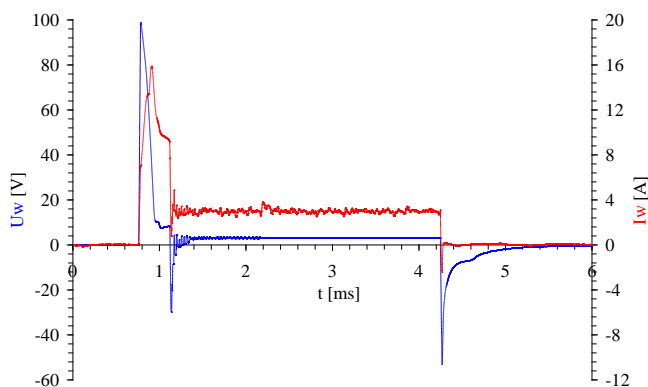
Celem badań było poznanie przebiegów napięcia i prądu zasilającego wtryskiwacza systemu GDI w różnych stanach pracy silnika. Badania przeprowadzono na silniku GDI samochodu Mitsubishi Carisma w układzie pomiarowym pokazanym na rysunku 3 przy otwartym wyłączniku W. W zależności od punktu pracy silnika określonego przez prędkość obrotową i obciążenie zmienia się czas

otwarcia wtryskiwacz oraz czas jego wysterowania. Pomiary wykonano w całym zakresie zmian prędkości i obciążenia. Zarejestrowano jednosekundowe odcinki sygnałów napięcia i prądu wtryskiwacza próbkowane co $0,1\mu s$.

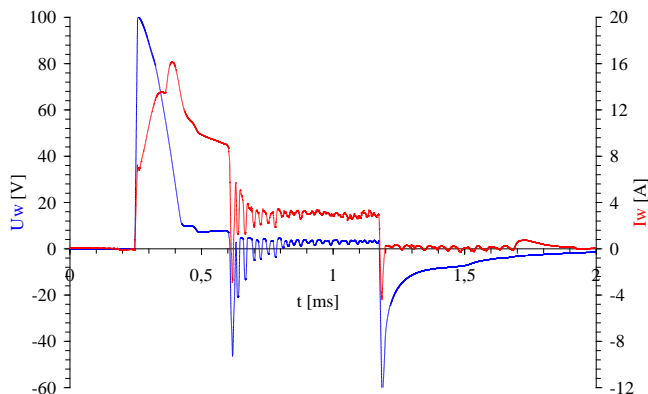
W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano przebiegi napięcia i prądu we wtryskiwaczu dla wielu punktów pracy silnika. Określono w nich czasy wysterowania wtryskiwacza oraz przeliczono zarejestrowane wartości na jednostki napięcia i prądu. W artykule tym prezentowane są trzy przykładowe przebiegi: dla najkrótszego oraz najdłuższego wysterowania podczas jazdy drogowej a także dla wysterowania podczas tworzenia mieszanki uwarstwionej.



Rys. 5. Przebiegi napięcia i prądu wtryskiwacza przy minimalnym czasie jego wysterowania



Rys. 6. Przebiegi napięcia i prądu wtryskiwacza przy maksymalnym czasie jego wysterowania w warunkach jazdy drogowej



Rys. 7. Przebiegi napięcia i prądu wtryskiwacza przy czasie jego wysterowania odpowiadającym tworzenie mieszanki uwarstwionej

PODSUMOWANIE

Zaprezentowane na rys. 5-7 trzy przykładowe przebiegi napięcia i prądu wtryskiwacza odzwierciedlają je we wszystkich stanach pracy silnika. W pierwszej fazie do wtryskiwacza przykładane jest napięcie ok. 100V, które maleje do ok. 7V w czasie ok. $180\mu s$ i utrzymuje się na tym poziomie przez kolejne $180\mu s$. W tym czasie prąd w cewce wtryskiwacza narasta do wartości maksymalnej (ok. 16A) a następnie maleje do ok. 9A. Jest to pierwsza faza przebiegów i jednocześnie maleje dla najkrótszego z zarejestrowanych wtrysków. Wtryski o dłuższych czasach trwania mają ograniczony prąd do ok. 3A. Chwila skokowego zmniejszenia prądu powoduje przepięcia widoczne jako drgania napięcia i prądu na rys. 6 i 7. Czas trwania tej fazy decyduje o długości wtrysku. Znajomość rzeczywistych przebiegów prądu i napięcia umożliwi diagnostykę systemu w przypadku nietypowych usterek np. częściowego zwarcia uzwojenia wtryskiwacza.

BIBLIOGRAFIA

1. Harasimczuk M., *Sterownik wtryskiwaczy paliwa dla silników o zapłonie iskrowym z bezpośrednim wtryskiem paliwa*, Poznań University of Technology Academic Journals, No 81, Poznań 2015.
2. Tutaj J., *Sterownik wtrysków paliwa dla silników spalinowych z bezpośrednim wtryskiem paliwa*, Czasopismo Techniczne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2008, z. 7-M/2008, str. 303-309
3. Opracowanie zbiorowe, Bosch, *Sterowanie silników o zapłonie iskrowym*, WKiŁ, Warszawa 2008.

The methodology of measurement of electrical parameters of activation of gasoline injector in GDI system

The article discusses the methodology of voltage measurement and current powering gasoline injector in direct injection system GDI. There are also shown exemplary results of measurements that were made with different driving times of injection. Large momentary values of voltage and current powering injector of this type – significantly differing from the value for injector of indirect injection system – requires the appropriate measurement methodology. The present article is devoted to this problem.

Autorzy:

dr inż. **Zbigniew Wołczyński** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny, Wydział Mechaniczny, Zakład Mechatroniki Samochodowej

dr inż. **Marek Stępniewski** – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny, Wydział Mechaniczny, Zakład Mechatroniki Samochodowej