

STYŁA Sebastian¹

Wpływ uszkodzeń instalacji elektrycznej pojazdów samochodowych na pracę układu wtryskowego

instalacja elektryczna, napięcie zasilania,
wtryskiwacz, czas wtrysku,
rezystancja, diagnostyka

Streszczenie

Instalacja elektryczna ma decydujący wpływ na sprawność i poprawną pracę pojazdów samochodowych. Ze względu na ciężkie warunki pracy, a w szczególności wysoką i niską temperaturę oraz dużą wilgotność, częstym problemem w poprawnym jej działaniu staje się niewielka zmiana rezystancji przewodów oraz wzrost rezystancji przejścia na stykach i złączach. Jest to duży problem zarówno dla właściciela pojazdu, jak i diagnostów, którzy starają się znaleźć przyczynę niesprawnego działania. W artykule zaprezentowano wpływ w/w uszkodzeń na pracę układu wtryskowego pojazdów samochodowych o zapłonie iskrowym, a także możliwości i sposoby ich wykrywania. Użyto w tym celu dwóch popularnych układów wtryskowych stosowanych w samochodach osobowych marki Nissan 200sx oraz motocyklach Suzuki GSX-R600.

EFFECT OF ELECTRICAL INSTALLATION FAILURE TO WORK AUTOMOTIVE FUEL-INJECTION SYSTEM

Abstract

The electrical installation has a decisive influence on the efficiency and proper operation of motor vehicles. A common problem in its proper operation is a small change cable resistance and increase resistance on contacts and connectors. The reason for this are hard working electrical installation conditions, especially high and low temperature and high humidity. This is a big problem for the owner of the vehicle and diagnosticians who are trying to find the cause of faulty operation. The article presents the influence of damages on the work of automotive spark ignition fuel-injection system as well as ways and means to detect them. Used for this purpose two common fuel-injection systems used in Nissan 200sx and Suzuki GSX-R600.

1. WSTĘP

Wymagania stawiane wyposażeniu elektrycznemu pojazdów samochodowych są bardzo rygorystyczne. Można je podzielić na cztery grupy [1, 2]:

- elektryczne: odpowiednie napięcie znamionowe, wytrzymałość izolacji, mały opór na stykach, odporność na zmiany i odpowiednia przeciążalność temperaturowa;
- eksploatacyjne: niezawodność, prostota obsługi i montażu, bezpieczeństwo przeciwpożarowe i przeciwporażeniowe, trwałość, łatwy dostęp w razie wymiany;
- mechaniczne: wytrzymałość, odporność na drgania, wstrząsy, wilgotność i zmiany temperatury w szerokim zakresie, zgodność wymiarów i materiały zgodne z normami, dobranie powłok antykorozyjnych;
- ekonomiczne: niska cena, łatwa zamienność części, mała masa i wymiary.

Spełnienie wszystkich wymagań równocześnie nie jest możliwe, np. większa trwałość, czy mniejszy wpływ warunków atmosferycznych pociąga za sobą zwiększenie kosztów wykonania danego podzespołu, dlatego przy produkcji danych elementów stawia się na kompromis, a główną wytyczną jest niezawodność działania.

Według normy PN-S-76021 [11, 12] instalacja elektryczna samochodu powinna spełniać następujące wymagania: odpowiednie napięcie znamionowe, wykonanie, łączenie i typ instalacji, prowadzenie i rodzaj przewodów, odporność na zmiany temperatury i na czynniki zewnętrzne. Oprócz wyżej wymienionych uwarunkowań prawnych dodatkowo każdy koncern samochodowy ustala własne, bardziej szczegółowe wymagania i przepisy dotyczące wymogów i metod badania własnych wyrobów. Wymogi te muszą być zgodne z ogólnie przyjętymi normami i każda marka produkująca samochody musi się do nich dostosować. Mimo tego elementy instalacji elektrycznej pojazdów ulegają, podczas eksploatacji, różnego typu uszkodzeniom. Przyczyną takiego stanu rzeczy są ciężkie warunki pracy tych urządzeń panujące w pojazdach, a w szczególności: szeroki zakres zmian temperatur, wilgotność, substancje żrące (pływy eksploatacyjne) i wstrząsy. Najcięższym do zdiagnozowania uszkodzeniem występującym pod wpływem w/w czynników jest zmiana rezystancji przewodów na skutek starzenia się elementów lub zmiana rezystancji przejścia na złączach i stykach (śniedzenie lub korozja). Ponadto rezystancja przewodów zmienia się pod wpływem zmian temperatury, zgodnie ze wzorem:

¹Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Inżynierii Komputerowej i Elektrycznej, 20-618 Lublin, ul. Nadbystrzycka 38a; e-mail: s.styla@pollub.pl

$$R_t = R_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (t - t_0)] \quad (1)$$

gdzie: R_t - rezystancja przewodnika w temperaturze t ,
 R_0 - rezystancja przewodnika w temperaturze początkowej t_0 ,
 α - temperaturowy współczynnik rezystancji

2. ELEKTRONICZNE STEROWANIE UKŁADEM WTRYSKU

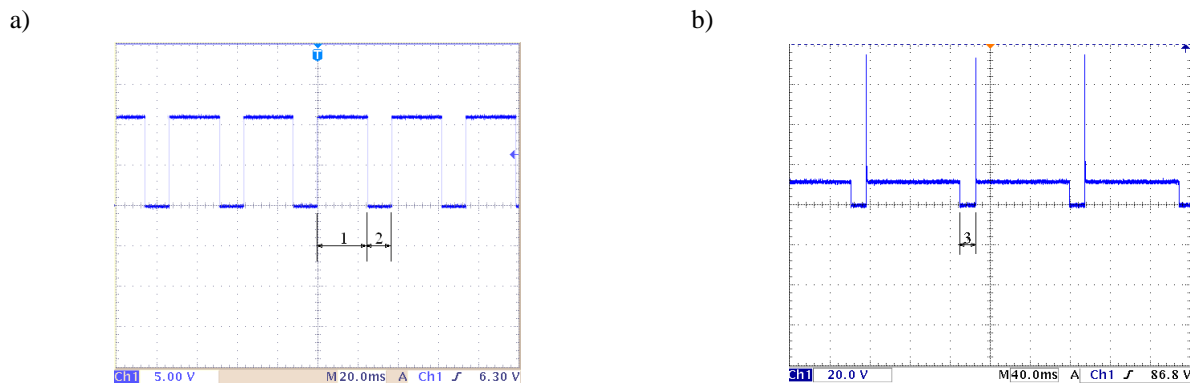
2.1 Algorytm sterowania

Układy wtryskowe, ze względu na rodzaj sterowania wtryskiwaczami, można podzielić na dwie grupy [5, 6, 8, 9]: mechaniczne (np. K-Jetronic, KE-Jetronic) i elektroniczne (np. Motronic, Multec, Renix, Bendix, ECCS). Obecnie stosowane są układy drugiej grupy. Sterowanie elektroniczne daje możliwość łatwiejszego, a przede wszystkim dokładniejszego pilotowania dawki paliwa dostarczanego do silnika.

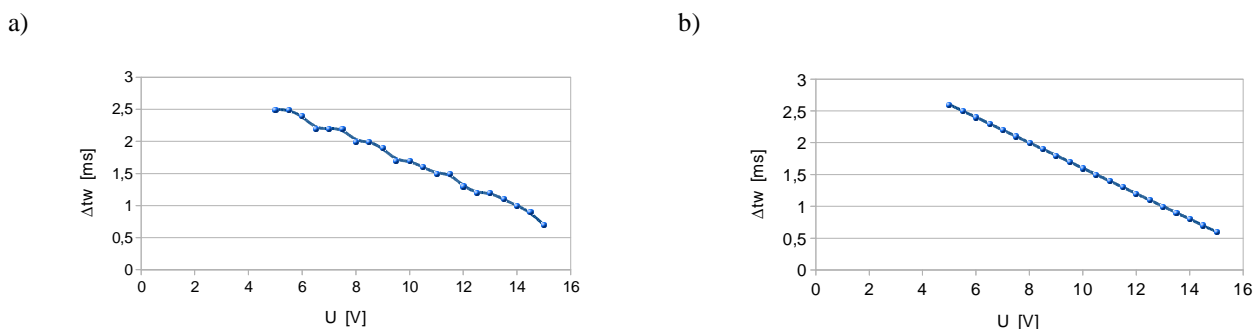
Mimo wielu rozwiązań konstrukcyjnych układów wtryskowych zasada działania większości z nich jest podobna. Mikrokontroler odpowiedzialny za sterowanie pracą silnika analizuje sygnały dostarczane z wielu czujników, do których należą m. in. czujniki [4, 6, 8, 10]: prędkości obrotowej silnika, ciśnienia w kolektorze dolotowym, temperatury silnika, temperatury zasysanego powietrza, sygnału z sondy lambda czy napięcia instalacji elektrycznej pojazdu i na podstawie odpowiedniego algorytmu zapisanego w pamięci steruje elementami wykonawczymi. Algorytm sterujący jest dobierany indywidualnie do danego typu silnika z uwagi na rodzaj, konstrukcję oraz wydajność zastosowanych w nim wtryskiwaczy oraz innych elementów wykonawczych (pompy paliwowej, rodzaju układu wtryskowego, itp.).

Na rysunku 1a przedstawiono impulsy sterujące otwarciem wtryskiwacza elektromagnetycznego. Parametrem brany pod uwagę przy pomiarach elektrycznych jest współczynnik wypełnienia impulsów (ang. Injector Duty Cycle). Jest to procentowe porównanie między stanem otwarcia i zamknięcia klucza zasilającego wtryskiwacz. Rzeczywisty czas wtrysku, zależy nie tylko od impulsu sterującego ale także od konstrukcji wtryskiwacza, a w szczególności od mechanicznych warunków jego pracy (szybkości działania).

Rysunek 1b przedstawia przykładowy przebieg napięcia podczas otwarcia wtryskiwacza metodą pojedynczego impulsu. Podczas załączenia wtryskiwacza napięcie spada do wartości równej nasyceniu tranzystora sterującego. W chwili wyłączenia, ze względu na występowanie w obwodzie indukcyjności, powstaje przepięcie sięgające wartości około 80 V. Aby zabezpieczyć klucz sterujący przed uszkodzeniem stosuje się diodę Zenera.



Rys.1. Charakterystyka współczynnika wypełnienia impulsu (a) i czasu otwarcia wtryskiwacza (b): 1-stan otwarcia, 2-stan zamknięcia, 3-czas wtrysku



Rys.2. Przykładowe charakterystyki korekcji czasu otwarcia wtryskiwacza w zależności od napięcia zasilania instalacji elektrycznej pojazdu: a) system Motronic, b) system Motec

Ze względu na to, że wtryskiwacz jest elementem elektromechanicznym, malejące napięcie akumulatora ma duży wpływ na czas jego otwarcia. W przypadku uszkodzenia instalacji elektrycznej pojazdu, program sterujący pracą silnika

wprowadza korektę martwego czasu otwarcia wtryskiwacza (rys. 2). Ponadto korekcja ta uwzględnia zmianę wydajności pompy paliwa przy zmieniającym się napięciu zasilania.

Zastosowanie wydajnych mikroprocesorów oraz wykorzystanie tych samych sygnałów pomiarowych sprawiło, że układy wtrysku benzyny oraz zapłonu zostały zamknięte w jednej obudowie zwanej sterownikiem lub mikrokontrolerem. Przyczynia się to do zwiększenia niezawodności tych urządzeń.

2.2 Diagnostyka

Mikrokontroler pełni w pojeździe dwojaką funkcję. Jedną z nich jest sterowanie pracą silnika według zapisanego w pamięci algorytmu, drugą jest samodiagnostyka elementów składowych należących do danego obwodu pojazdu. Od roku 2000 (w USA od roku 1996) światowym standardem stał się system diagnostyki pokładowej OBD II. Mimo niewątpliwych zalet, do których należą m. in.: znormalizowane złącze diagnostyczne, znormalizowane tryby pracy urządzeń diagnostycznych, ujednoczenie standardów przesyłania informacji, możliwość wykonania szybkiej diagnostyki poszczególnych podzespołów; standard OBD ma także ograniczenia. Jednym z nich jest brak odpowiedniego monitora diagnostycznego wykrywającego niewielkie zmiany rezystancji w instalacji elektrycznej np. pod wpływem starzenia się przewodów lub ich zawilgocenia. Wynikiem tych zmian jest błędna ocena rzeczywistych parametrów pracy silnika oraz nieodpowiednie sterowanie dawką paliwa doprowadzaną do komory spalania. Może się to przyczynić do nierównomiernej pracy silnika, zmniejszenia mocy, zwiększenia zużycia paliwa lub nawet zatrzymania pracy silnika.

W celu kompletnego zdiagnozowania oraz jednoznacznego ustalenia rodzaju uszkodzenia układu wtryskowego (wtryskiwaczy) należy przeprowadzić szereg pomiarów [3, 7, 8]: organoleptycznych, elektrycznych, przepływowych oraz z wykorzystaniem specjalnych testerów. Ze względu na tematykę artykułu omówione zostaną badania elektryczne. Dotyczą one pomiaru:

- rezystancji i indukcyjności cewki wtryskiwacza za pomocą mostka RLC,
- sygnałów prądowych doprowadzonych do wtryskiwaczy za pomocą miernika cęgowego;
- sygnału napięciowego czasu otwarcia wtryskiwacza za pomocą oscyloskopu.

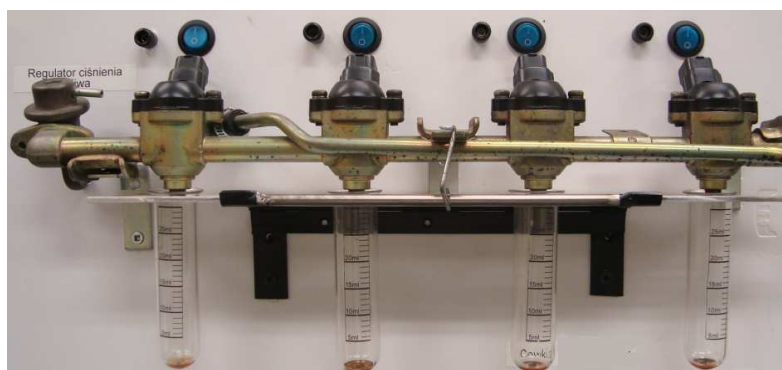
Uzyskane wyniki porównywane są z wzorcowymi dostarczonymi przez producenta danej marki pojazdów samochodowych i na ich podstawie dokonywana jest ocena stanu technicznego układu wtryskowego.

3. BADANIA LABORATORYJNE

W celu zbadania zmian rezystancji przewodów instalacji elektrycznej łączącej sterownik silnika z wtryskiwaczami oraz wpływu tych zmian na pracę układu sterowania silnikiem zbudowano stanowiska laboratoryjne odzwierciedlające rzeczywiste warunki pracy układu sterowania. Wykorzystano w tym celu dwa popularne układy wtryskowe montowane w samochodach osobowych marki Nissan oraz motocyklach sportowych marki Suzuki. W obu przypadkach są to układy stosowane w pojazdach o zapłonie iskrowym.

3.1 Charakterystyka badanych układów wtryskowych

Pierwszym układem wtryskowym jest kompletny system sterowania ECCS (Electronic Computer Control System) stosowany w samochodach Nissan 200sx (rys. 3). Jest to zintegrowany układ wtrysku i zapłonu. Stanowisko posiada cztery wtryskiwacze elektromagnetyczne wraz z zasobnikiem paliwa. Rezystancja wtryskiwaczy wynosi ok. 11,4 Ω . Natężenie prądu płynącego przez wtryskiwacz podczas pracy wynosi ok. 0,52 A. Sterowanie wtryskiwaczami odbywa się na podstawie odpowiedniego algorytmu oraz zapisanej w pamięci mapy wtrysku i charakterystyk korekcyjnych (tak jak w rzeczywistym samochodzie). Stanowisko umożliwia również podłączenie interfejsu OBD w celu obserwacji i wykrywania uszkodzeń.



Rys.3. Układ wtryskowy Nissan 200sx

Drugim z badanych modeli jest układ wtrysku stosowany w motocyklach sportowych Suzuki GSX-R600 (rys. 4). Posiada on cztery wtryskiwacze elektromagnetyczne o rezystancji ok. 12,9 Ω . W czasie pracy każdy z wtryskiwaczy pobiera prąd o wartości 0,78 A. Sterowanie wtryskiwaczami odbywa się za pomocą regulatora mocy i obrotów AT-4.

Regulator ten umożliwi płynną zmianę szerokości wypełnienia impulsu PWM. Ma to na celu odpowiednie wyzwalanie wtryskiwaczy i możliwość porównania wpływu uszkodzeń instalacji elektrycznej przy różnych czasach otwarcia wtryskiwaczy.



Rys.4. Układ wtryskowy Suzuki GSX-R600

3.2 Metodyka i wyniki badań

Jak już wspomniano wcześniej zmiany rezystancji przewodów lub elementów łączeniowych wpływają niekorzystnie na działania nie tylko urządzeń elektrycznych ale stwarzają problem w zdiagnozowaniu tego typu uszkodzenia. W celu zbadania możliwości wykrycia tych niesprawności oraz zaobserwowania ich wpływu na układ wtryskowy, w badaniach zasymulowano zmiany rezystancji przewodów oraz rezystancję przejścia na stykach i złączach poprzez zastosowanie rezystora suwakowego o odpowiednio dobranej wartości. Został on szeregowo włączony w układ, pomiędzy elektroniczną jednostką sterującą EJS a wtryskiwacze.

Aby wyeliminować ewentualne uszkodzenia samego wtryskiwacza na początku określono wartości rezystancji cewek wtryskiwaczy i porównano je z wartościami podanymi przez producentów. Ponadto dokonano oględzin organoleptycznych oraz wykonano wstępne badania przepływowe.

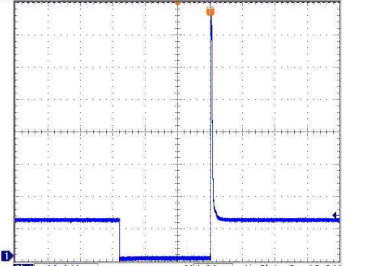
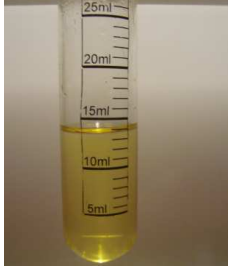
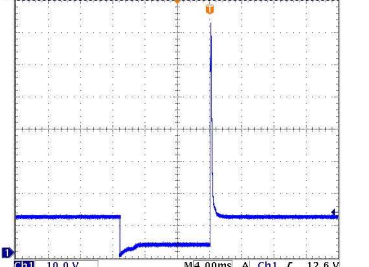

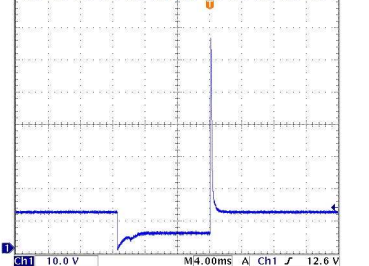

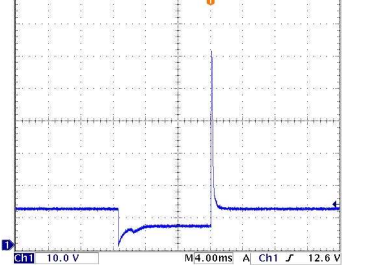

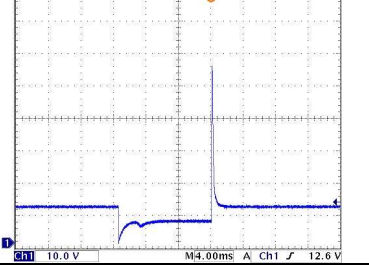

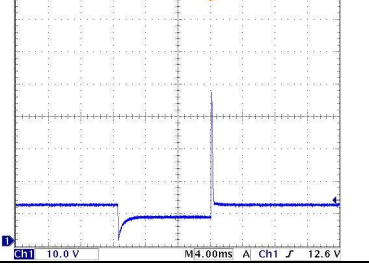

Ze względu na duże różnice w otrzymanych wynikach spowodowane różnymi warunkami pracy silnika (prędkość obrotowa, obciążenie, temperatura silnika, itp.) badania należy wykonywać możliwie przy takich samych parametrach pracy. Największe różnice między działaniem obwodu elektrycznego sprawnego i niesprawnego widoczne są na biegu jałowym silnika. Dotyczy to przede wszystkim pomiarów przepływowych, w mniejszym stopniu oscyloskopowych. Określenia odpowiednich parametrów pracy silnika spalinowego dla samochodu marki Nissan dokonano za pomocą złącza OBD. Użyto w tym celu programu diagnostycznego Conzult (rys. 5).

CMPS/RPM	1025 RPM	O2 SENSOR	0.68 V	
MAS AIR/FL	2.89 V	A/F ALPHA	100 %	
THRTL POS	3.02 V	IGN TIMING	7 BTDC	
IACV-AAC/V	54 %	INJ PULSE	11.51 mSEC	
COOLANT TEMP	67 °C	INJ DUTY	9.83 %	
M/R F/C MNT	: RICH	CLS/D THL/POS	EGR SOL/V	AIV CONT S/V
BATTERY	12.00 V	AIR COND SIG	W/G CONT S/V	IACV-FICD S/V
VHCL SPEED	0 KM/H	P/N POSI SW	VALVE TIM SOL	AIR COND RLY
		PW/ST SIGNAL	P/REG CONT/V	FUEL PMP RLY
		START SIGNAL		COOLING FAN

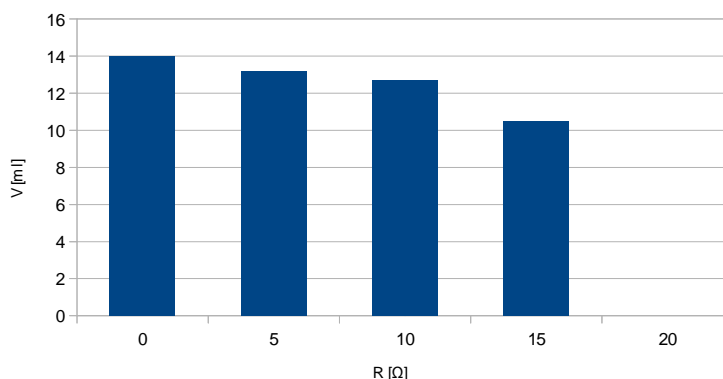
Rys.5. Parametry pracy układu sterowania ECCS Nissan (silnika) podczas przeprowadzania badań

Należy nadmienić, że podczas badania układu wtryskowego w standardzie OBD powyższe uszkodzenia nie zostają wykryte. Ich występowanie można dopiero określić na podstawie analizy sygnałów oscyloskopowych oraz badań przepływowych. Wyniki zostały przedstawione w tabeli 1. Na podstawie oscylogramów można określić wartość zmian rezystancji dodatkowej występującej w obwodzie wtryskiwacza. Wskazuje na to kształt sygnału w czasie otwarcia wtryskiwacza oraz „pik” napięcia przy jego wyłączeniu.

Tab. 1. Wyniki badań wpływu dodatkowej rezystancji na charakterystykę czasu otwarcia wtryskiwacza oraz ilość doprowadzonego paliwa do silnika

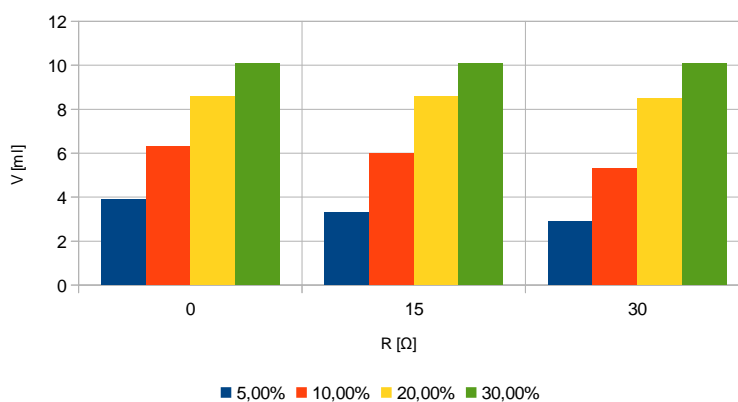
Wartość rezystancji dodatkowej (stan pracy wtryskiwacza)	Charakterystyka czasu otwarcia wtryskiwacza	Ilość wtrysniętego paliwa (czas 30 s)
<p>0 Ω (wtryskiwacz pracuje)</p>		
<p>5 Ω (wtryskiwacz pracuje)</p>		
<p>10 Ω (wtryskiwacz pracuje)</p>		
<p>15 Ω (wtryskiwacz pracuje)</p>		
<p>20 Ω (wtryskiwacz pracuje; w przypadku włączenia pompy paliwa przestaje pracować)</p>		
<p>powyżej 25 Ω (wtryskiwacz nie pracuje)</p>		

Przy badaniu obwodu elektrycznego wtryskiwaczy, bez działającej pompy paliwa, wtryskiwacze przestawały działać przy wartości rezystancji przewodów i rezystancji przejścia równej 25 Ω . Podczas pracy pompy i badań przepływowych, wtryskiwacze przestawały działać przy wartości 16 Ω . Wskazuje to na konieczność wykonywania tego typu pomiarów podczas znamionowej pracy obwodu zasilania paliwem. Różnice wydajności w pracy wtryskiwaczy dla różnych wartości rezystancji dodatkowej przedstawia rysunek 6.



Rys.6. Wykres wydajności wtryskiwacza w zależności od wartości rezystancji dodatkowej występującej w instalacji elektrycznej (Nissan 200sx)

W celu zbadania parametrów pracy wtryskiwaczy ze zwiększoną rezystancją przejścia na stykach łączeniowych, przy różnych czasach ich otwarcia, wykonano badania wykorzystując układ wtryskowy motocykla Suzuki. Czas otwarcia wtryskiwacza regulowano w zakresie współczynnika szerokości impulsu od 5 % do 30 %. Rezultat badań przedstawiono na rysunku 7. Wynika z nich, że pomiary w celu wykrycia powyższych uszkodzeń powinno przeprowadzać się przy krótkich czasach otwarcia wtryskiwaczy. Wtedy można zaobserwować szczególnie duże różnice między wydajnością wtryskiwacza z instalacją elektryczną sprawną oraz niesprawną. Wtryskiwacze przestawały pracować przy rezystancji przejścia (dodatkowej) równej 38 Ω .



Rys.7. Wykres wydajności wtryskiwacza w zależności od współczynnika szerokości impulsu sterującego wtryskiwaczami dla różnych wartości rezystancji przejścia (Suzuki GSX-R600)

Analizując sygnał prądowy za pomocą miernika cęgowego z rejestracją komputerową w obu układach wtryskowych, można zaobserwować pewną systematyczność zmian. W przypadku pracy wtryskiwacza sprawnego (znamionowa rezystancja przewodów w obwodzie lub jej niewiele większa wartość) natężenie prądu pobieranego przez wtryskiwacz oscyluje w granicach $I_{\max} - I_{\min}$ ($\Delta I \neq 0$). W przypadku wystąpienia dużej wartości rezystancji dodatkowej oscylacje te ustają ($\Delta I \approx 0$). Jest to symptom diagnostyczny, który umożliwia szybkie wykrycie uszkodzenia, a także opracowanie procedury diagnostycznej dla standardu OBD.

4. WNIOSKI

Zwiększanie rezystancji przewodów pod wpływem starzenia się materiałów lub uszkodzeń mechanicznych, jak również zwiększanie się rezystancji przejścia na stykach pod wpływem wilgoci, korozji, itp. wpływa niekorzystnie na układ wtryskowy pojazdu. Może to spowodować utratę mocy silnika, nierównomierną pracę, a w niektórych przypadkach nawet jego unieruchomienie. Obecne monitory diagnostyczne standardu OBD nie wykrywają tego typu uszkodzeń, co niekorzystnie wpływa na szybkość i jakość wykonania badań w stacjach serwisowych. Jednoznaczne określenie tego typu uszkodzenia opiera się na doświadczeniu zawodowym i umiejętności wykonywania pomiarów przez wykwalifikowanego diagnostę. Z ekonomicznego punktu widzenia, przeprowadzenie kompleksowych badań przedstawionych w niniejszym

artykule jest mało uzasadnione ze względu na ich czasochłonność. Rozwiązaniem wydaje się być stworzenie monitora diagnostycznego OBD automatycznie analizującego sygnał prądowy wtryskiwaczy i na jego podstawie określającego stan obwodu.

Dokonując analizy przeprowadzonych badań można stwierdzić, że podczas wykonywania pomiarów należy zachować znamionowe warunki pracy układu paliwowego, w szczególności odpowiednią wydajność pompy paliwa. Ponadto przedstawione uszkodzenia uwidaczniają się w największym stopniu przy bardzo krótkich czasach otwarcia wtryskiwaczy oraz małej prędkości obrotowej silnika. Niewielkie zmiany rezystancji (do kilku Ohm) nie wpływają znacząco na wydajność wtryskiwaczy w porównaniu z obwodem sprawnym. Większe wartości powodują odczuwalne zmiany w pracy silnika spalinowego.

Zmiany rezystancji przewodów i elementów łączeniowych powodują także błędy w działaniu czujników odpowiedzialnych za wysyłanie sygnałów sterujących do EJS, na podstawie których dobierana jest optymalna wartość czasu otwarcia wtryskiwacza. Wynika to z zasady działania niektórych czujników, np. temperatury silnika, którym jest najczęściej termistor NTC. Pojawienie się dodatkowej rezystancji w obwodzie tego czujnika przesuwają wartość odczytanej temperatury na charakterystyce $t=f(R)$. W czujnikach prędkości obrotowej silnika, zwiększenie rezystancji na stykach lub przewodach może być odebrane przez EJS jako uszkodzenie samego czujnika (zmniejszenie amplitudy doprowadzonego sygnału, poniżej ustalonej wartości granicznej).

Powyższe problemy rozwiązuje w pewnym stopniu zastosowanie magistrali komunikacyjnej LIN lub CAN. Za ich pomocą przesyłane są sygnały cyfrowe. Wymaga to jednak zastosowania przetworników A/C lub C/A przy każdym czujniku lub elemencie wykonawczym pojazdu, co zwiększa koszty produkcji takich elementów.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Dziubiński M., Ocioszyński J., Walusiak S.: *Elektrotechnika i elektronika samochodowa*, Lublin, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej 2009.
- [2] Herner A., Riehl H.: *Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych*, Warszawa, WKŁ 2009.
- [3] Idzior M., Borowczyk T., Karpiuk W., Stopnicki P.: *Możliwości badania stanu technicznego nowoczesnych wtryskiwaczy silników o zapłonie samoczynnym*, czasopismo Logistyka 3/2011, s. 933 – 942.
- [4] Informator techniczny BOSCH: *Sterowanie silników o zapłonie iskrowym. Układy Motronic*, Warszawa, WKŁ 2004.
- [5] Informator techniczny BOSCH: *Sterowanie silników o zapłonie iskrowym. Zasada działania. Podzespoły*, Warszawa, WKŁ 2002.
- [6] Kasedorf J., Woisetschlager E.: *Układy wtryskowe benzyny. Sprawdzanie i regulacja*, Warszawa, WKŁ 2004.
- [7] Olszowski S., Olszowski T.: *Innowacyjna metoda diagnozowania stanu wtryskiwaczy common rail za pomocą analizy sygnałów rzeczywistych*, czasopismo Logistyka 6/2011, s. 3205 – 3211.
- [8] Trzeciak K.: *Diagnostyka samochodów osobowych*, Warszawa, WKŁ 2010.
- [9] Tylusińska-Kowalska A.: *Układy wtryskowe benzyny. Tom 1-6*, Warszawa, Wydawnictwo AUTO 2005.
- [10] Wendeker M.: *Sterowanie wtryskiem benzyny w silniku samochodowym*, Lublin, LTNPL 1999.
- [11] PN-S-76021:1998 *Instalacja elektryczna pojazdów samochodowych -- Wymagania i metody badań*.
- [12] PN-S-76021:1998/Az1:2001 *Instalacja elektryczna pojazdów samochodowych -- Wymagania i metody badań*.