

METODY POMIARU PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ W MECHATRONICE

DOI: 10.24136/atest.2018.294

Data zgłoszenia: 30.08.2018. Data akceptacji: 25.09.2018.

W artykule omówiono metody pomiaru prędkości obrotowej. Przedstawiono metody klasyczne oraz nową metodę wykorzystującą pomiar drgań jako funkcję wejściową w procesie uzyskiwania wyniku prędkości obrotowej wału korbowego. Aby uzyskać prawidłowe INFORMACJE diagnostyczne, wymagana jest klasyczna ścieżka diagnostyczna oraz cyfrowe przetwarzanie sygnału. Praca zawiera również informacje na temat magistrali CAN, a także systemu EOBD.

1. INDUKCYJNY POMIAR PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ

Czujniki indukcyjne są szeroko stosowane w pojazdach samochodowych. Wynika to z dużej odporności na drgania i przybrudzenia, a także szybkim, analogowym pomiarze wartości prędkości obrotowej. W czujnikach indukcyjnych, bez względu na sposób pomiaru, najważniejszym medium informacyjnym jest wektor indukcji magnetycznej, charakteryzujący wypadkowe pole magnetyczne, będące wartością określającą siłę, jaką pole magnetyczne działa na jednostkę długości przewodnika, umieszczonego prostopadłe do kierunku działania tego pola [7]. Wartość wektora indukcji (w próżni) określana jest wzorem:

$$B_0 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad [T] \quad (3)$$

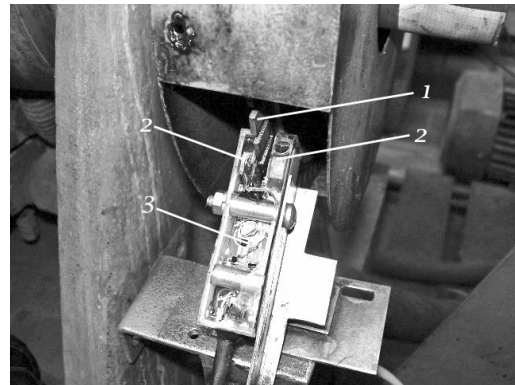
gdzie: r – odległość punktu pomiarowego od przewodnika, μ_0 – bezwzględna przenikalność magnetyczna, I – wartość prądu płynącego w przewodniku.

Czujniki indukcyjne pomiaru wartości prędkości obrotowej dzielą się na dwie grupy:

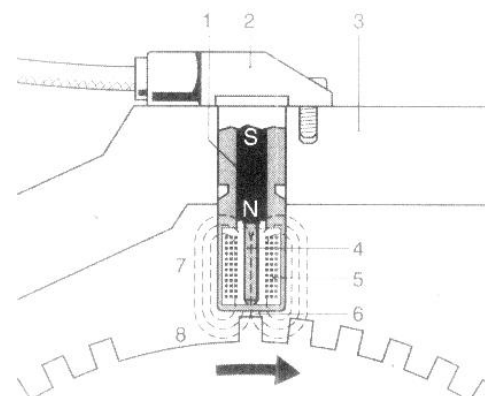
1. Czujniki transformatorowe.
2. Czujniki magnetoindukcyjne reluktancyjne.

Czujniki transformatorowe wykorzystują zjawisko siły elektromotorycznej, indukowanej przez uzwojenie pierwotne w uzwojeniu wtórny przy różnym sprzężeniu obydwu zwoi [8]. Czujnik taki generuje SEM, wprost proporcjonalną do wartości strumienia magnetycznego, która jest zależna od przenikalności magnetycznej materiału. Wykorzystując koło impulsowe, będące ruchomym rdzeniem zamykającym obwód magnetyczny (rys. nr 1), dzięki czemu zostaje wytworzony ciąg impulsów (przez zmianę przenikalności), które następnie zostają zsumowane. Uzyskana suma w jednostce czasu odpowiada prędkości wału korbowego. Do wad tego rodzaju czujników należy ograniczona możliwość pomiaru małych prędkości. Są także mało odporne na działanie silnych zewnętrznych pól magnetycznych.

Czujniki magnetoindukcyjne, działają na zasadzie indukowania SEM w solenoidzie. Pod wpływem ruchu ferromagnetycznego koła zębatego, który powoduje zastąpienie (impulsowe) części rdzenia powietrznego rdzeniem ferromagnetycznym (rys. 2).



Rys. 1 Czujnik transformatorowy prędkości obrotowej; 1- koło impulsowe; 2 – uzwojenia transformatora (po stronie lewej pierwotne), 3 – układy kondycjonujące



Rys. 2 Reluktancyjny czujnik prędkości obrotowej [8]; 1- magnes, 2- korpus, 3- kadłub silnika, 4- rdzeń magnesu, 5- cewka, 6- szczelina powietrzna, 7- pole magnetyczne, 8- ferromagnetyczne koło impulsowe

Czujniki magnetoindukcyjne, działające z pojedynczą cewką (lub równoległe – kilkoma) wytwarzają napięcie, wprost proporcjonalne do wartości strumienia magnetycznego (a to jest tym większe im mniejsza reluktancja rdzenia):

$$SEM = z \frac{d\phi}{dt} \quad [V] \quad (4)$$

Wadą tego rodzaju czujników, podobnie jak transformatorowych jest mała odporność na silne zewnętrzne pola magnetyczne, a także mała dokładność pomiaru przy małych wartościach $d\phi$, odpowiadających za wartość prędkości obrotowej.

2. POMIAR DRGAŃ SILNIKA

Drgania wibroakustyczne to zjawisko, polegające na ruchu układu materialnego, wokół punktu równowagi statycznej, które polega na przepływie i akumulowaniu energii o wartości dostatecznej do powstania źródła dźwięku o natężeniu wystarczającym do

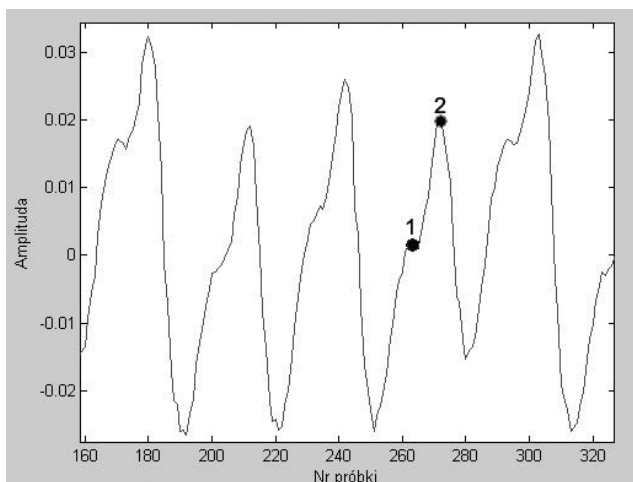
wywołania ludzkiego wrażenia słuchowego, ale jednocześnie mogące przekroczyć zakres częstotliwości słyszalnych przez ludzi.

Drgania wibroakustyczne są używane jako synonim wielkości je charakteryzujących, do których należą [9]:

1. Przemieszczenie.
2. Przemieszczenie względne.
3. Prędkość.
4. Prędkość względna.
5. Przyspieszenie.
6. Przesunięcie fazowe harmonicznej.

Wielkości charakteryzujące są mierzone różnymi metodami z których należy wyróżnić akcelerometrię piezoelektryczną oraz ostatnio coraz bardziej popularną wibrometrię laserową. Metoda pomiarowa jest ściśle powiązana z mierzoną wielkością. W przypadku akcelerometrii, wielkością mierzoną bezpośrednio jest przyspieszenie względne, natomiast w przypadku wibrometrii przemieszczenie względne. Inne wielkości są mierzone w układach diagnostycznych, ale są wynikiem przekształceń wielkości podstawowych.

Drgania silnika są ściśle związane z procesem spalania. Badania wykazały, że bez względu na miejsce detekcji drgań (kadłub, miska olejowa czy głowica) otrzymuje się informację diagnostyczną, będącą mniej lub bardziej wyraźnym odwzorowaniem procesu spalania (rys. 3)



Rys. 3 Drgania silnika, mierzone (wibrometria laserowa) na misce olejowej; 1 – momentu wtrysku paliwa, 2 – spalanie

3. PRZEKSZTAŁCENIA SYGNAŁY DRGAŃ

Wszystkie operacje cyfrowego przetwarzania sygnałów, użyte w badaniach, mają na celu zmienić kształt widma sygnału w sposób powtarzalny z użyciem znanych i wykorzystywanych metod. Podstawową operacją jest okienkowanie sygnału. W tym wypadku w dziedzinie czasu, ponieważ ogranicza się przy tym tylko do operacji mnożenia dyskretnego sygnału drgań i dyskretnego widma okna. Oczywiście możliwe jest wykorzystanie okna w dziedzinie częstotliwości, ale wymagałoby to operacji splotu wymienionych sygnałów dyskretnych. Idealny ciąg okienkujący, miałby widmo o charakterze prostokątnym, aby tłumić nie charakterystyczne (z punktu widzenia badań) części widma, przy jednoczesnym wzmocnieniu części charakterystycznych. Idealne okno nie zniekształcałoby sygnału badanego i pozwalało uniknięcia przecieku widmowego (zjawisko, polegające na ujawnieniu się części składowej sygnału, nie leżącej przy częstotliwościach, dla których dokonujemy analizy, we wszystkich wyjściowych wartościach dyskretnych sygnału po transformacji do dziedziny częstotliwości [10]). Uzyskanie prostokątnej charakterystyki częstotliwościowej okna jest niemożliwe,

koniecznym staje się kompromis, polegający na zastosowaniu najlepszego, z punktu widzenia badań, ciągu okienkującego. Doświadczalnie stwierdzono, że dobrym rozwiązaniem jest okno typu „Flap Top”. Okno to charakteryzuje mała rozdzielczość przy dużej dynamice [11]. Ponadto charakteryzuje się znaczną dokładnością w odwziedlaniu amplitudy. Wartości dla tego rodzaju okna uzyskuje się z poniższego wzoru (5)[11]:

$$\omega(t) = 1 - 1,93 \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right) + 1,29 \cos\left(\frac{4\pi}{T}t\right) - 0,388 \cos\left(\frac{6\pi}{T}t\right) + 0,0322 \cos\left(\frac{8\pi}{T}t\right) \quad (5)$$

gdzie: $0 \leq t \leq T$ i $\omega(t)=0$ dla wartości spoza dziedziny.

Po „okienkowaniu”, sygnał podlega transformacji do dziedziny częstotliwości przy zastosowaniu szybkiej transformaty Fouriera o podstawie 2. Wyprowadzenie algorytmu FFT jest znane od 1965 roku i szeroko opisywane w literaturze [10, 11]. Wykorzystana postać szybkiej transformaty Fouriera dla sygnałów dyskretnych ma postać opisaną wzorem (6):

$$X(k) = \sum_{j=1}^N x(j)\omega_N^{(j-1)(k-1)} \quad (6)$$

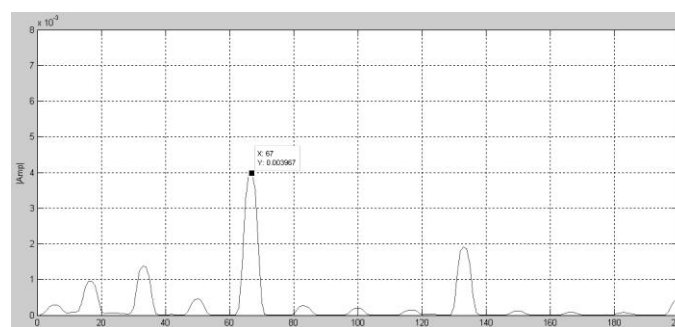
gdzie: $\omega_N = \exp\left(\frac{-2\pi i}{N}\right)$; N- ilość próbek, k- bieżąca próbka

dziedziny częstotliwości, j – bieżąca próbka dziedziny czasu.

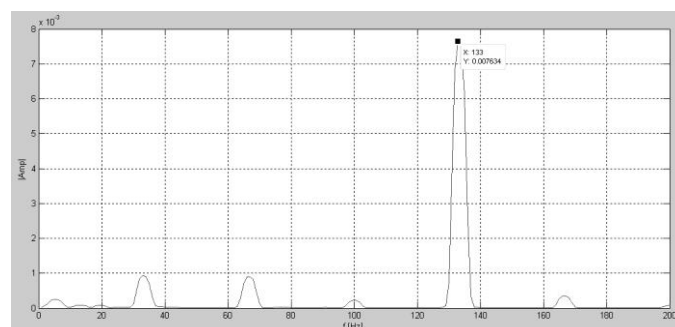
Użyty algorytm pozwala na znacznie przyspieszenie obliczeń, a współczesny komputer, pozwala na uzyskanie wyników w kilka sekund.

4. POMIAR PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ NA PODSTAWIE POMIARU DRGAŃ

Rysunek 4 i 5 przedstawiają widmo częstotliwościowe silnika VW 1,9 TDi JTD dla prędkości 2000 i 4000 rpm. Wartość momentu wynosi 100Nm i nie ma wpływu na rozkład częstotliwości, a jedynie na amplitudę prążków.



Rys. 4 Widmo drgań silnika VW 1,9TDi JTD, $\omega=2000$ rpm, $M_o=100$ Nm.



Rys. 5 Widmo drgań silnika VW 1,9TDi JTD, $\omega=4000$ rpm, $M_o=100$ Nm.

Wartości częstotliwości dla harmonicznym dominującym wynoszą 67 ($\omega=2000$ rpm) oraz 133Hz ($\omega=4000$ rpm). Wartości te, pomnożone przez stałą, wynoszącą w tym wypadku 30, pozwalają na uzyskanie empirycznych wartości prędkości obrotowej, wynoszącej 2010 i 3990 rpm. Należy zauważyć, że błąd względny pomiaru, jeżeli wartością oczekiwaną będą wartości pochodzące z czujników (czyli 2000 i 4000) wynosi w obu przypadkach 0,50%. Jest to błąd mniejszy niż niepewność pomiaru układu oryginalnych czujników i przetworników silnika. Ponadto pomiar został dokonany metodą bezdotykową, poprzez pomiar drgań promieniem lasera wibrometru.

PODSUMOWANIE

Oprócz klasycznych metod pomiaru prędkości obrotowej, nowa metoda wydaje się być bardzo dobrym rozwiązaniem serwisowym. Należy zwrócić uwagę, że w przypadku użycia dopplerowskich metod pomiaru drgań (które niestety są ciągle stosunkowo drogie), nie wymagany jest bezpośredni dostęp do obiektu (wystarczy miejsce w którym odbije się wiązka). Wibroakustyczna metoda pomiaru doskonale sprawdzi się w warsztatach i stacjach obsługi.

BIBLIOGRAFIA

1. Bosch: *Czujniki w pojazdach samochodowych*, informator techniczny, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2002
2. „Poradnik Serwisowy – kompendium praktycznej wiedzy warsztatowej”, nr 5/2003, str. 63 – 82.
3. Merkisz J., Mazurek S.: *Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2002
4. http://www.obdii.com/codes_request.asp
5. Elektronika Praktyczna *Magistrała CAN*, nr 1/2000
6. <http://www.canopen.pl>
7. Praca zbiorowa: *Słownik Fizyczny*, Wyd. „Wiedza Powszechna”, Warszawa 1996
8. Gajek A., Juda Z.: *Czujniki*, WKŁ, Warszawa 2008
9. Kucharski T. *System pomiaru drgań mechanicznych*, WNT, Warszawa 2002
10. Stranneby D., *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów. Metody, algorytmy, zastosowanie*, Wydawnictwo BTC, Warszawa 2004
11. Lyons R.G.: *Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów*, Wydawnictwo WKŁ, Warszawa 2006

Methods of measuring crankshaft speed in mechatronics

The article discusses methods of measuring rotational speed. Classical methods as well as a new method using vibration measurement as the input function in the process of obtaining the result of the crankshaft rotational speed were presented. A classic diagnostic path, as well as digital signal processing, is required to obtain the correct diagnostic INFORMATION. The work also includes information on the CAN bus as well as the EOBD system.

Autorzy:

mgr inż. **Monka Andrych - Zalewska** – Politechnika Wroclawska, Katedra Inżynierii Pojazdów, monika.andrych@pwr.edu.pl

mgr inż. **Radosław Włostowski** – Politechnika Wroclawska, Katedra Inżynierii Pojazdów, radoslaw.wlostowski@pwr.edu.pl

dr inż. **Radosław Wróbel** – Politechnika Wroclawska, Katedra Inżynierii Pojazdów, radoslaw.wrobel@pwr.edu.pl