

ZASTOSOWANIE SELEKCJI CZASOWO - WIDMOWEJ SYGNAŁU DRGANIOWEGO DO OSZACOWANIA LUZÓW ZAWORÓW SILNIKA SPALINOWEGO o ZS

Roman BARCZEWSKI¹⁾, Grzegorz SZYMAŃSKI²⁾

Politechnika Poznańska, Instytut Mechaniki Stosowanej¹⁾, Instytut Silników Spalinowych²⁾
ul. Piotrowo 3, 60-965, Poznań, e-mail:Roman.Barczewski@put.poznan.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono nową metodę szacowania luzów zaworowych silnika spalinowego o ZS bazującą na wynikach parametryzacji mapy czasowo-widmowej $a(t,f)$ drgań generowanych przez silnik. Jako narzędzie selekcji czasowo-widmowej sygnału drganiowego zaproponowano zastosowanie metod analizy czasowo-częstotliwościowej (JTFA). Zarysowano algorytm metody i zamieszczono przykład ilustrujący zastosowanie uśrednianej synchronicznie krótkoczasowej transformacji Fouriera (STFT) do ekstrakcji składowych sygnału związanych z procesem zamykania zaworów. W wyniku parametryzacji mapy $a(t,f)$, uzyskano miary sygnału współzmiennicze z luzem zaworowym. Zastosowanie funkcji skalującej pozwala na pośrednie szacowanie wartości luzu.

Słowa kluczowe: luz zaworowy, selekcja czasowo-widmowa, zastosowania diagnostyczne JTFA

APPLICATION OF THE TIME-FREQUENCY SELECTION OF THE VIBRATION TO VALVE CLEARANCE ASSESSMENT OF A DIESEL ENGINE

Summary

The paper presents a new method of valve clearance assessment of a Diesel engine, based on results of parameterizations of a time-frequency $a(t,f)$ map of an engine vibration signal. As a tool of a time-frequency selection of vibration signal the Joint Time-Frequency Analysis (JTFA) methods have been proposed. An algorithm of the method has been outlined and an example of application of a synchronous averaged Short Time Fourier Transform (STFT) for extracting vibration signal components related to closing of engine valves has been shown. Parameterization of $a(t,f)$ map gives measures covariable with valve clearance. Application of scaling function enables indirect assessing of the clearance value.

Keywords: valve clearance, time-frequency selection, diagnostic application of JTFA

1. WSTĘP

Prawidłowe funkcjonowanie tłokowych silników spalinowych zależne jest w dużej mierze od poprawnej regulacji układu rozrządu, który steruje poszczególnymi fazami wymiany ładunku w cylindrze. Proces właściwej wymiany ładunku zależny jest również od wielkości luzu zaworowego. O ile silnik nie jest wyposażony w układ automatycznej kompensacji, luz zaworowy należy okresowo sprawdzać i korygować. Nie jest również bezzasadnym okresowe sprawdzanie poprawności funkcjonowania układów samoregulacji. Nie zawieranie się luzu zaworowego w polu tolerancji, określonym dla danego typu silnika, może być przyczyną pogorszenia efektywności jego pracy, czy też zwiększenia emisji związków toksycznych do atmosfery. Dłuższa eksploatacja silnika ze źle ustawionym

luzem zaworowym może w konsekwencji doprowadzić do nadpalenia przyłgni zaworów lub gniazd zaworowych [4,7].

Pomiar luzów zaworowych (z wykorzystaniem szczelinomierza) i ich regulacja w zależności od konstrukcji silnika wymaga jego zatrzymania i wystudzenia oraz wiąże się często z koniecznością jego częściowego demontażu (np. pokrywy zaworowej).

Alternatywą może być bezdemontażowa, pośrednia kontrola luzów zaworowych bazująca na analizie sygnału drganiowego generowanego przez silnik podczas jego pracy. Ocenę luzu z wykorzystaniem miar liczbowych sygnału przyspieszeń drgań rejestrowanych na głowicy silnika o ZS, (dla ustalonych parametrów pracy), przedstawiono w pracach [6,7]. Do oszacowania luzu zastosowano kurtozę, wartość szczytową przyspieszeń drgań oraz funkcje skalujące uzyskane

na podstawie wyników eksperymentu czynnego. W metodzie tej przed parametryzacją sygnału drganiowego konieczne jest wyseparowanie z sygnału sekwencji związanych z procesem zamykania zaworu dolotowego lub wylotowego.

Badania prowadzone przy stałej prędkości obrotowej silnika (z dokładnością jaką zapewnia układ stabilizacji prędkości) wykazały, że nie zawsze jest możliwe dobranie a priori parametrów okna czasowego dokonującego selekcję czasową. W zależności od wielkości luzu zmienia się czas odpowiedzi układu pobudzonego do drgań procesem zamykania zaworu jak i dochodzi do nieznacznych przesunięć procesu względem znacznika początku cyklu.

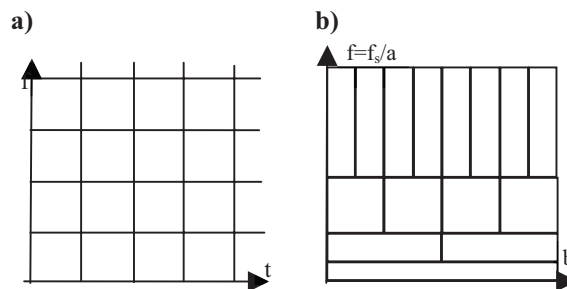
Pewnym rozwiązaniem może być, zaproponowane w pracy [2], zastosowanie wyników analiz czasowo - widmowych do adaptacyjnego sterowania procedurami selekcji czasowej [3] sygnału drganiowego. Zaletą takiego podejścia jest również możliwość sterowania procedurą selekcji widmowej [3] (częstotliwościowe kształtowanie sygnału i eksponowanie charakterystycznych cech badanego procesu, podzespołu czy zjawiska). Opracowany i stosowany w pracy [2] system cyfrowego przetwarzania sygnału skutecznie dokonywał separacji czasowej i widmowej sekwencji związanych z pracą i zaworów dolotowego, wylotowego oraz procesem spalania.

W niniejszym artykule zaproponowano zastosowanie metod analiz czasowo-widmowych jako techniki separacji sygnałów drganiowych jednocześnie w dziedzinach czasu i częstotliwości. Dalsze przetwarzanie mapy czasowo - częstotliwościowej i jej parametryzacja daje w wyniku miary, na podstawie których możliwe jest wartościowanie niektórych procesów i zjawisk zachodzących w silniku spalinowym. Zamieszczono przykład zastosowania krótkoczasowej transformaty Fouriera do selekcji czasowo-widmowej sygnału przyspieszeń drgań rejestrowanych na głowicy silnika spalinowego o ZS. Symptomy uzyskane w wyniku dalszego przetwarzania mapy $a(t,f)$ po uwzględnieniu funkcji skalującej były podstawą oszacowania luzów zaworowych.

2. SELEKCJA CZASOWO-WIDMOWA

W pracy [2] przedstawiono wybrane metody JTFA (*Joint Time-Frequency Analysis*) [5] w aspekcie możliwości ich zastosowania jako techniki selekcji czasowo-widmowej. Cechy krótkoczasowej transformaty Fouriera (*Short Time Fourier Transform - STFT*) oraz transformaty Wavelet (*Wavelet Transform - WT*) dają potencjalne możliwości ich bezpośredniego stosowania jako procedury selekcji. Wynik analizy STFT można traktować jako serię widm wyznaczonych dla lokalnych, krótkich segmentów czasowych. Do zalet tej metody można zaliczyć łatwą, intuicyjną interpretację wyników analizy oraz stały krok czasowy analizy i stałą rozdzielczość w całym zakresie częstotliwości (rys. 1a). Postać wyniku jest zależna między innymi od przyjętej funkcji okna czasowego i parametrów przetwarzania sygnału (liczby próbek w segmencie danych i kroku czasowego analizy). Do ograniczeń metody można zaliczyć niemożność uzyskania jednocześnie wysokiej rozdzielczości w dziedzinach czasu i częstotliwości. Rozdzielczość w dziedzinie czasu można poprawić stosując *overlapping*, polegający na częściowym zachodzeniu na siebie analizowanych segmentów sygnału. Błąd estymacji amplitudy i częstotliwości dla lokalnych maksimów mapy można zminimalizować stosując metody korekcji amplitudowo - częstotliwościowej np. AFC [1].

Transformację Wavelet można przyrównać do filtracji o stałej względnej szerokości pasma $\Delta f/f_s$. Pozycja filtra na mapie czasowo-częstotliwościowej jest określona przez parametry skali i przesunięcia (*a - dilation, b - translation*). Wraz z przesuwaniem się okna analizy (rys.1b) w stronę wyższych częstotliwości, wzrasta szerokość pasma analizy (zmniejsza się rozdzielczość w dziedzinie częstotliwości), rośnie natomiast rozdzielczość w dziedzinie czasu i na odwrót. Cecha ta może być przydatna w przypadku jednoczesnej analizy i obserwacji z różnym krokiem czasowym szybkozmiennych procesów wysokoczęstotliwościowych (np. pracy zaworów) i wolnozmiennych procesów niskoczęstotliwościowych.



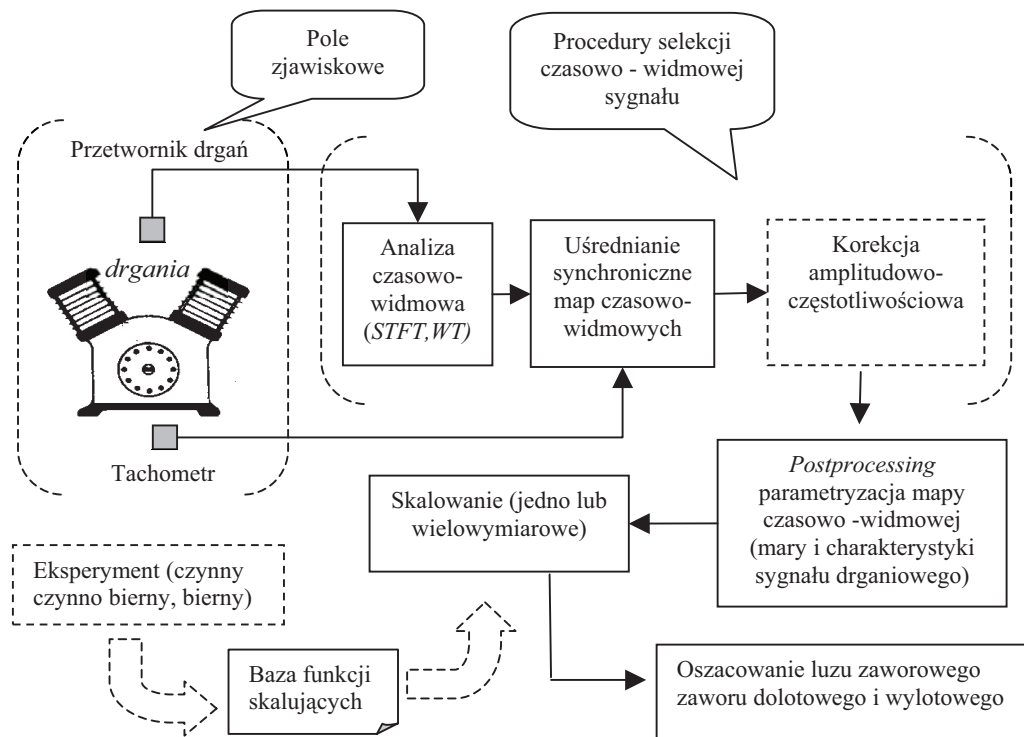
Rys. 1. Porównanie okien map czasowo-widmowych a) Krótkoczasowej Transformaty Fouriera (STFT), b) Transformaty Wavelet (WT)

3. PROCEDURA SZACOWANIA LUZU ZAWOROWEGO

Na rysunku 2 przedstawiono schemat przetwarzania sygnału drganiowego, w wyniku którego można szacować luzy zaworowe silnika spalinowego. Zadaniem procedur selekcji czasowo - widmowej jest wydobyć i / lub wyeksponować z procesu drganiowego informacji związanych z pracą poszczególnych zaworów. W polu zjawiskowym oprócz przetworników drgań instalowany jest przetwornik tachometryczny, niezbędny do prowadzenia uśredniania synchronicznego map czasowo-widmowych oraz

identyfikacji faz pracy silnika. W celu zmniejszenia błędów estymacji amplitudy i częstotliwości składowych mapy $a(t,f)$ można opcjonalnie stosować procedury korekcji amplitudowo - częstotliwościowej. Dalsza parametryzacja sygnału (tworzenie miar i charakterystyk) powinna prowadzić do uzyskania symptomów współzmienniczych z wielkością luzu zaworowego.

Do uzyskania pełnego odwzorowania luzu zaworowego na podstawie miar sygnału drganiowego konieczne jest zastosowanie funkcji skalujących, tworzonych na drodze eksperymentalnej.



Rys. 2. Uproszczony schemat przetwarzania sygnału drganiowego stosowanego w procesie szacowania luzu zaworowego silnika spalinowego

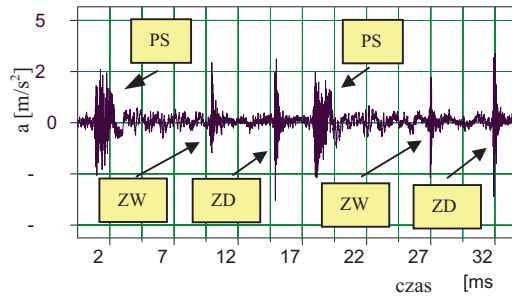
4. PRZYKŁAD REALIZACJI METODY

Prezentowany przykład ilustruje funkcjonowanie zaproponowanej metody szacowania luzu zaworowego z zastosowaniem STFT jako techniki selekcji czasowo-widmowej. Sygnały przyspieszeń drgań pozyskano z głowicy z silnika spalinowego o ZS typu SB 3.1. [4,7]. Synchronicznie z drganiami rejestrowano sygnał tachometryczny. Cyfrowe przetwarzanie sygnałów realizowano w wirtualnym środowisku pomiarowo-analizującym DASYLab.

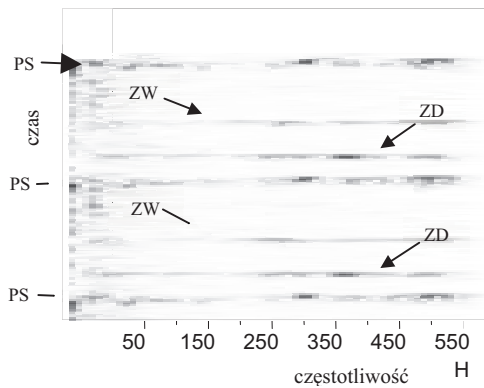
Na rysunku 3 przedstawiono przebieg przyspieszeń drgań zarejestrowany na głowicy badanego silnika spalinowego. Zaznaczono na nim

sekwencje związane z procesem spalania (PS) oraz zamykaniem zaworów dolotowego (ZD) i wylotowego (ZW). Jak widać kolejne zdarzenia dotyczące nawet tego samego podzespołu/procesu nie są powtarzalne. Klasyczne uśrednianie synchroniczne przebiegu czasowego z uwagi na nieznaczną fluktuację prędkości obrotowej silnika nie dałoby w tym przypadku pożądanego efektu.

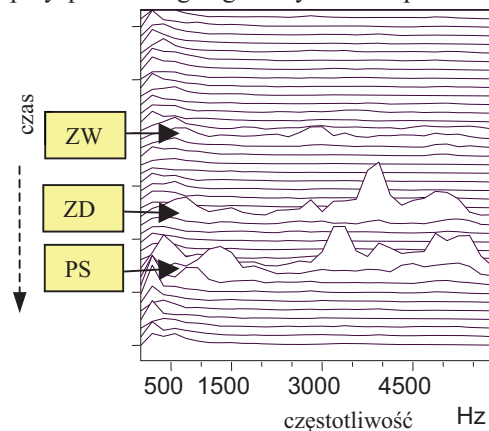
W proponowanej metodzie mapa czasowo-widmowa uzyskana na drodze STFT (rys. 4) jest w kolejnych etapach synchronicznie uśredniana (rys. 5) i poddawana parametryzacji (rys.6). Do oszacowania luzu stosowane są funkcje skalujące (rys.7).



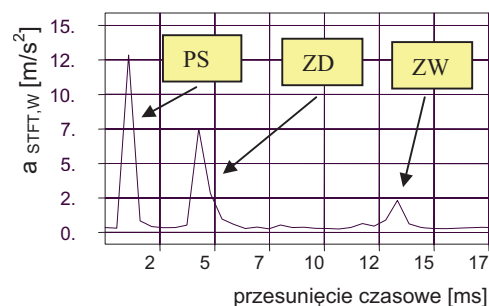
Rys. 3. Przebieg czasowy przyspieszeń drgań zarejestrowany na głowicy silnika spalinowego (PS - proces spalania, ZW - zamknięcie zaworu wylotowego, ZD - zamknięcie zaworu dolotowego)



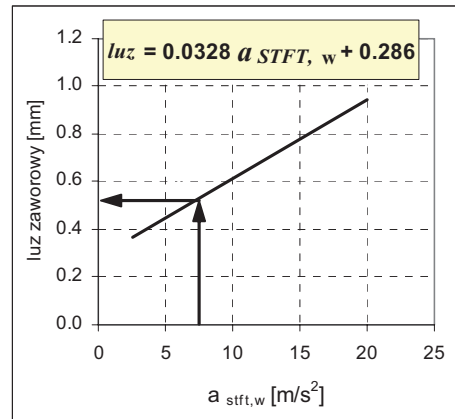
Rys. 4. Mapa czasowo-widmowa sygnału przyspieszeń drgań głowicy silnika spalinowego



Rys. 5. Uśredniona synchronicznie mapa czasowo-widmowa sygnału przyspieszeń drgań



Rys. 6. Przykładowy wynik parametryzacji mapy czasowo-widmowej



Rys. 7. Przykładowa postać funkcji skalującej i sposób szacowania luzu zaworu dolotowego

Parametryzację uśrednionej synchronicznie mapy czasowo-widmowej (rys.5) można prowadzić na wiele sposobów np. wyznaczać wartości skuteczne przyspieszeń drgań przekrojów czasowych mapy $a(t,f)$. Przed wyznaczeniem miary przekrój czasowy (uśrednione widmo krótkoczasowe) może być poddane filtracji w dziedzinie częstotliwości (selekcji widmowej). Dalszej syntezy może być poddane całe analizowane pasmo częstotliwości, jego część lub można precyzyjnie separować i składowe odpowiadające np. częstotliwościom własnym głowicy silnika, rezonansu przetwornika i/lub systemu jego mocowania. Analiza odpowiednich sekwencji związanych z procesem zamykania zaworów, kategoriach wartości szczytowych, wymaga operowania na zespolonej postaci STFT i ponownej retransformacji częstotliwościowo korygowanego przekroju czasowego mapy $a(t,f)$ w dziedzinę czasu.

5. PODSUMOWANIE

Współczynnik korelacji pomiędzy luzem zaworowym uzyskanym na drodze pomiaru i oszacowania osiągał wartości powyżej 0.95. Dokładność odwzorowania zależy w dużej mierze od przyjętej miary, precyzji wyznaczenia funkcji skalującej oraz parametrów selekcji czasowo-widmowej. Zarysowana metoda może znaleźć zastosowanie w diagnozowaniu podzespołów i procesów nie tylko w odniesieniu do silników spalinowych, ale i innych maszyn o cyklicznym charakterze pracy.

LITERATURA

- [1] Barczewski R., *AFC - the method of amplitude spectrum correction*, Congress of Technical Diagnostics, Gdańsk 1996.
- [2] Barczewski R., Szymański G.M., *Zastosowanie metod selekcji sygnału drganiowego w diagnostyce silników spalinowych*, Pojazdy Szynowe 3/2004.
- [3] Cempel Cz., *Podstawy wibroakustycznej diagnostyki*

- maszyn*, WNT Warszawa 1982.
- [4] Czechyra B., Szymański G.M., Tomaszewski F., *Ocena luzu zaworów silnika spalinowego w oparciu o parametry drgań – założenia metodyczne*. Silniki Spalinowe nr 1/2004 (118).
- [5] Shie Qian, Dapang Chen, *Joint Time-Frequency analysis*, Methods and Applications, Prentice Hall PTR Inc. 1996.
- [6] Szymański G.M., *Ocena stanu regulacji zaworów silnika spalinowego za pomocą sygnału drganiowego*, Praca magisterska, PP - Poznań 2000.
- [7] Tomaszewski F., Czechyra B., Szymański G.M., *Wykorzystanie miar punktowych sygnału drganiowego do oceny wybranych parametrów regulacyjnych układu rozrządu silnika spalinowego*, Pojazdy Szynowe 2/2004.



Dr inż. Roman Barczewski jest adiunktem w Instytucie Mechaniki Stosowanej Politechniki Poznańskiej. Kierownik Laboratorium Diagnostyki Systemów. Specjalizacja: diagnostyka i wibroakustyka maszyn i środowiska, metody cyfrowego przetwarzania sygnałów, systemy diagnostyczne.



Mgr inż. Grzegorz M. Szymański jest doktorantem Wydziału Maszyn Roboczych i Transportu Politechniki Poznańskiej. Zajmuje się diagnostyką silników spalinowych z wykorzystaniem sygnałów wibroakustycznych.