

Tomasz FIGLUS

DIAGNOZOWANIE STANU ŁOŻYSK TOCZNYCH PRZY UŻYCIU DOŚWIADCZALNEJ METODY DEKOMPOZYCJI I ANALIZY CZĘSTOTLIWOŚCI CHWILOWEJ SYGNAŁU

Streszczenie. W pracy przedstawiono metody wykrywania uszkodzeń łożysk tocznych przekładni na podstawie analizy sygnału drganiowego. Pomiary drgań wykonano na stanowisku mocy krążącej. Do pomiarów wykorzystano wibrometr laserowy. Analizy sygnałów wykonano stosując doświadczalną metodę dekompozycji oraz obliczając częstotliwość chwilową sygnału na podstawie transformaty Hilberta.

DIAGNOSIS ROLLING BEARING CONDITION BY USING EMPIRICAL MODE DECOMPOSITION AND INSTANTANEOUS FREQUENCY OF SIGNAL

Summary. In the paper presents applications diagnosis rolling bearing of gearbox. Vibration measurements were made on circulating gear testing FZG by using laser vibrometer. Vibration signal was analysis by means empirical mode decomposition and instantaneous frequency.

1. WSTĘP

Diagnozowanie stanu łożysk tocznych należy do bardzo ważnych badań związanych z określaniem możliwości dopuszczenia do dalszej pracy przekładni zębatych. Do badań tych wykorzystuje się obecnie różne techniki pomiaru drgań. Stosuje się przetworniki piezoelektryczne, którymi wykonuje się pomiary kontaktowe, najczęściej na obudowach łożysk, ale również wibrometry laserowe, którymi wykonuje się pomiary bezkontaktowe prędkości drgań poprzecznych wirujących wałów. Pomiary te przeprowadza się bezpośrednio w pobliżu łożysk oraz w różnych punktach obudowy przekładni [1,2,3].

Powstawanie uszkodzeń łożysk spowodowane jest różnymi czynnikami, np.: silniejszym niż przewidywano obciążeniem, nieodpowiednim smarowaniem, nieskutecznym uszczelnieniem. Każda z tych przyczyn wywołuje określony, typowy dla niej rodzaj uszkodzenia [1-5].

Badania łożysk tocznych przekładni zębatej mają na celu wykrycie uszkodzeń bieżni i elementów tocznych. Występowanie uszkodzeń tych elementów może powodować wzmocnienie drgań emitowanych przez przekładnię, czyniąc je użytecznymi diagnostycznie, a miejsce występowania uszkodzenia łożyska ma zasadniczy wpływ na generowane przez nie drgania [4-6].

W pracy [7] autor podaje, iż spośród różnych metod diagnozowania i prognozowania stanu łożysk tocznych można wyróżnić trzy podstawowe [8]:

- metody bazujące na analizie dyskretnych składowych widma,
- metody badania i analizy sygnału generowanego przez węzeł łożyska rozumiany jako jedno źródło,
- metody oparte na analizach statystycznych.

Oprócz nich, w literaturze prezentowane są analizy oparte na metodach czasowo-częstotliwościowych Wignera-Ville'a [2,7] oraz metodach rozkładu czas-skala częstotliwości, tzn. ciągłej i dyskretnej transformacie falkowej [7,9].

W pracy podjęto próbę zastosowania doświadczalnej metody dekompozycji oraz analizy częstotliwości chwilowej sygnału drganiowego do diagnozowania stanu łożysk tocznych przekładni.

2. DOŚWIADCZALNA METODA DEKOMPOZYCJI

W metodzie tej, przedstawionej m.in. w pracy [10], wykorzystuje się kolejne filtracje sygnału wykonywane w dziedzinie czasu. Określając lokalne maksima górnej obwiedni $l(t)$ sygnału analizowanego $x(t)$ oraz lokalne minima dolnej obwiedni $u(t)$ tego sygnału, oblicza się, po przeprowadzeniu ich interpolacji, sygnał reszkowy z zależności:

$$r_1 = \frac{l(t) + u(t)}{2} \quad (1)$$

Tak otrzymany sygnał $r_1(t)$ będący składową sygnału $x(t)$ umożliwia obliczanie pierwszego poziomu dekompozycji $h_1(t)$ z zależności:

$$h_1 = x(t) - r_1(t) \quad (2)$$

Według podanej zasady oblicza się kolejne poziomy dekompozycji stosując jako sygnał bazowy $h_i(t)$ sygnał otrzymany z poprzedniej dekompozycji. Tak wyznaczone sygnały $h_N(t)$ i $r_N(t)$ zawierają składowe sygnału analizowanego $x(t)$, które poddaje się dalszym analizom.

3. TRANSFORMATA HILBERTA

Przekształcenie Hilberta jest często stosowane do analizy sygnałów drganiowych [6,10]. Podstawą przekształcenia jest zależność [11]:

$$\hat{x}(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{x(\tau)}{t - \tau} d\tau \quad (3)$$

gdzie:

$x(\tau)$ - analizowany sygnał czasowy,

τ - czas,

t - zmienna czasowa.

Na podstawie znajomości sygnału rzeczywistego $x(t)$ i jego transformaty Hilberta $\hat{x}(t)$ obliczyć można sygnał analityczny z zależności [11]:

$$z(t) = x(t) + j\hat{x}(t) \quad (4)$$

Sygnał $z(t)$ umożliwia obliczenie amplitudy chwilowej sygnału zwanej obwiednią $X(t)$, z zależności [11]:

$$X(t) = |z(t)| = \sqrt{x^2(t) + \hat{x}^2(t)} \quad (5)$$

oraz częstotliwości chwilowej $f(t)$ sygnału uzyskanej na podstawie różniczkowania z zależności:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi(t)}{dt} \quad (6)$$

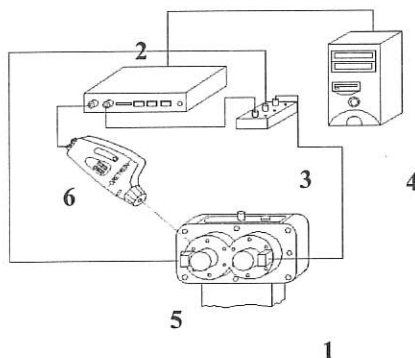
gdzie: $\varphi(t)$ – faza sygnału wyrażonego w postaci $z(t) = |z(t)|e^{i\varphi(t)}$.

Na podstawie obliczonej częstotliwości chwilowej $f(t)$ wyznaczać można rozkład czasowo-częstotliwościowy sygnału analizowanego $x(t)$, którego amplituda jest wysokością tego rozkładu.

4. BADANIA STANOWISKOWE

Badania wykonano na stanowisku mocy krążącej FZG [2,3,7,12,13]. W badaniach wykorzystano łożysko kulkowe, w którym symulowano miejscowe uszkodzenia bieżni zewnętrznej. Uszkodzenie łożyska spowodowało wystąpienie impulsów wysokoenergetycznych odpowiadających kontaktowi kulki z uszkodzeniem bieżni z częstotliwością 90,1 Hz.

Do rejestracji sygnałów drganiowych wykorzystano układ pomiarowy przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego: 1 – badana przekładnia, 2 – analizator sygnałów DSTP SigLab, 3 – układ logiczny, 4 – komputer PC, 5 – czujniki położenia wałów, 6 – wibrometr laserowy

Fig. 1. The diagram of measurement system: 1 – the examined transmission (gear), 2 – DSTP signal analyzer (SigLab), 3 – logic system, 4 – PC, 5 – sensors of shaft's position, 6 – laser vibrometer

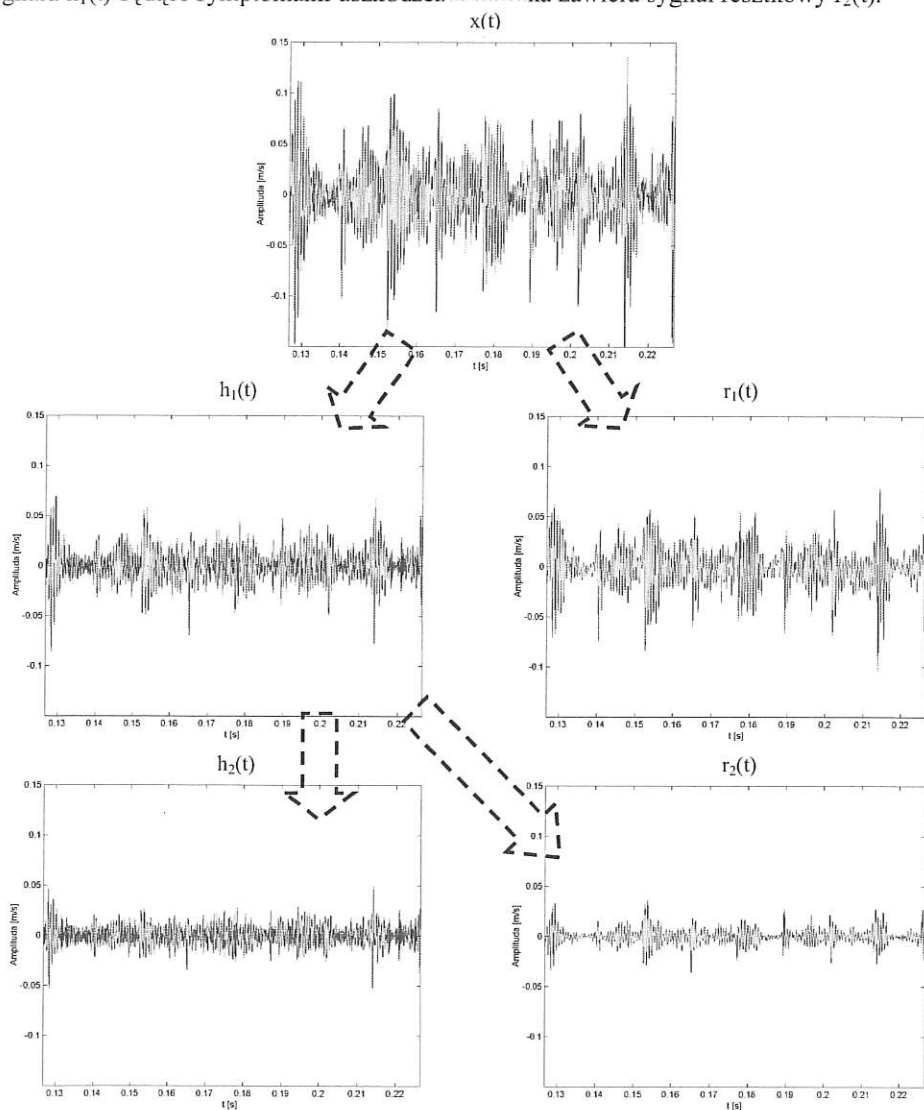
5. ANALIZA WYNIKÓW POMIARÓW

W celu weryfikacji możliwości diagnozowania uszkodzenia łożyska przy użyciu proponowanej w pracy metody dekompozycji sygnału oraz analizy częstotliwości chwilowej sygnału wykonano analizy na podstawie zarejestrowanego sygnału drganiowego przekładni.

Założono, iż filtracja przeprowadzana będzie na dwóch poziomach dekompozycji, w celu określenia jej wpływu na przebieg czasowy sygnału drganiowego, jak i chwilową zmianę częstotliwości.

Analizując wyniki obliczeń przedstawione na rysunku 2 stwierdzić można, że metoda dekompozycji sygnału umożliwia filtrowanie składowych głównych sygnału drganiowego

przekładni $x(t)$ związanych z uszkodzeniem łożyska. Składowe te wydzielone zostają już na pierwszym poziomie dekompozycji i zawierają się w sygnale reszkowym $r_1(t)$. Na drugim poziomie dekompozycji sygnał $h_2(t)$ już tylko w niewielkim stopniu przenosi informacje o uszkodzeniu łożyska. Tylko największe zmiany amplitudy nie zostały odfiltrowane. Składowe sygnału $h_1(t)$ będące symptomami uszkodzenia łożyska zawiera sygnał reszkkowy $r_2(t)$.



Rys. 2. Rozkład sygnału drganiowego $x(t)$ na kolejne poziomy dekompozycji

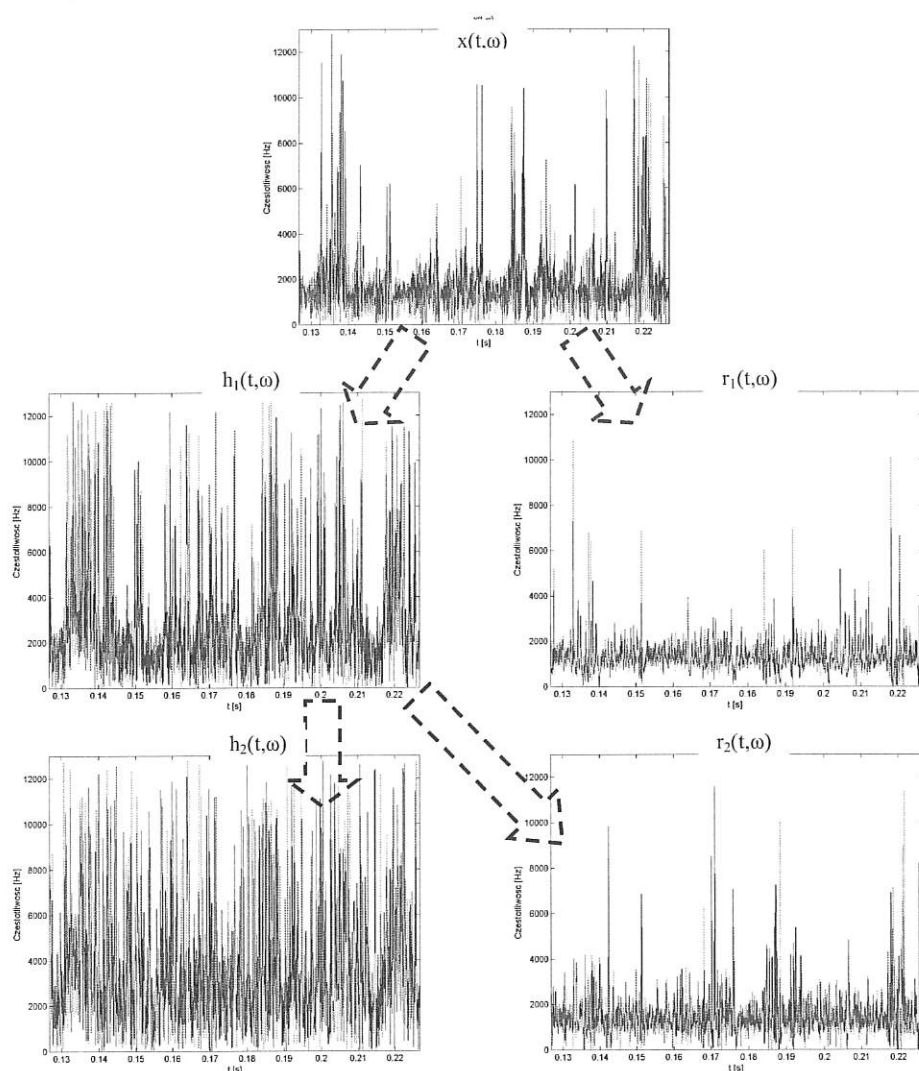
Fig. 2. Vibration signal $x(t)$ and his decompositions

Na podstawie przedstawionych przebiegów sygnałów drganiowych przekładni wyznaczono ich rozkłady czasowo-częstotliwościowe wykorzystując transformatę Hilberta.

W rozkładach tych zmiany częstotliwości sygnału, obejmujące zakres od 1 do 2 kHz, odpowiadają okresom kontaktu kulki z uszkodzeniem bieżni. W paśmie tym występuje

częstotliwość rezonansowa wału, na którym wykonywano pomiary, wyznaczona w badaniach prezentowanych w pracach [13,14].

Analizując sygnały $h_1(t, \omega)$ oraz $h_2(t, \omega)$ stwierdzić można, że proponowana metoda dekompozycji umożliwia separowanie informacji o uszkodzeniu łożyska, również w jego składowych częstotliwościowych. Informacja o tych zmianach zawarta jest w sygnałach reszkowych $r_1(t, \omega)$ i $r_2(t, \omega)$.



Rys. 3. Rozkłady czasowo-częstotliwościowe sygnału drganiowego $x(t)$ i jego dekompozycji
Fig. 3. Time-frequency distribution vibration signal $x(t)$ and his decompositions

6. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wskazują na możliwość zastosowania doświadczalnej metody dekompozycji oraz analizy częstotliwości sygnału drganiowego do diagnozowania stanu

łożysk tocznych przekładni zębatej. Wyniki analiz wskazują na możliwość wydzielenia z sygnału drganiowego informacji o stanie łożyskowania. W badaniach wykazano, iż uszkodzenie bieżni zewnętrznej łożyska wpływa zarówno na zmianę amplitudy, jak i częstotliwości zarejestrowanego sygnału. Następnym etapem pracy będzie próba zastosowania prezentowanych metod do diagnozowania innych przypadków uszkodzeń łożysk tocznych przekładni zębatej.

Literatura

1. Dwojak J., Rzepiela M.: Diagnostyka techniczna. Diagnostyka i obsługa techniczna łożysk tocznych. Poradnik. Biuro Gamma, Warszawa 2003. Informacja produkcyjna.
2. Wilk A., Figlus T.: Diagnozowanie uszkodzeń łożysk tocznych przekładni z wykorzystaniem komputerowych analiz sygnałów drganiowych, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, ser. Transport, z. 56, Gliwice 2004, s. 61-70.
3. Łazarz B., Wojnar G., Figlus T.: Wykrywanie uszkodzeń łożysk w przekładni zębatej. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, ser. Transport, z. 46, Gliwice 2004, s. 47-54.
4. Cempel Cz.: Diagnostyka wibroakustyczna maszyn. PWN, Warszawa 1989.
5. SKF. Uszkodzenia łożysk i ich przyczyny. SKF, 2001.
6. SKF. Poradnik obsługi technicznej łożysk. SKF, 1994.
7. Łazarz B.: Zastosowanie transformat falkowej i Wignera-Ville'a do wykrywania uszkodzeń łożysk tocznych. Problemy Eksploatacji 2002.
8. Dąbrowski Z., Radkowski S.: Wykorzystanie sygnału wibroakustycznego w diagnozowaniu uszkodzeń łożysk tocznych. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, z. 1(117), 1999.
9. Batko W., Mikulski A.: Zastosowanie metod falkowych w systemach monitoringu wibroakustycznego łożyskowania urządzenia wyciągowego. Diagnostyka'26, s. 7-12.
10. Loutridis S.: Damage detection in gear systems using empirical mode decomposition, Engineering Structures 26, 2004, 1833-1841.
11. Szabatin J.: Podstawy teorii sygnałów. Wydanie czwarte. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1982, 2003.
12. Figlus T., Wilk A.: Diagnozowanie stanu kół zębatach przekładni w obecności uszkodzeń łożysk tocznych na podstawie analiz drgań korpusu przekładni, XXXII Ogólnopolskie Sympozjum DIAGNOSTYKA MASZYN, Węgierska Górka 28.02.-05.03.2005.
13. Łazarz B., Wojnar G., Figlus T.: Identyfikacja tłumienia w łożyskach tocznych, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, ser. Transport, z. 48, Gliwice 2003, s.183-190.
14. Figlus T.: Ocena transmitancji drgań w przekładni na stanowisku mocy krążącej FZG, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, ser. Transport, z. 57, Gliwice 2005, s. 59-66.
15. Randall R.B.: Detection and diagnosis of incipient bearing failure in helicopter gearbox. Engineering Failure Analysis 11, 2004, s.177-190.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Dąbrowski