ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2005
Seria: TRANSPORT z. 57 Nr kol. 1675

Bogusław ŁAZARZ, Henryk MADEJ, Piotr CZECH

WYKORZYSTANIE EMD W DIAGNOSTYCE USZKODZEŃ KÓŁ ZĘBATYCH

Streszczenie. W opracowaniu przedstawiono wyniki eksperymentu, którego celem było zastosowanie empirical mode decomposition (EMD) w zadaniu diagnostyki uszkodzeń kół zębatych.

USE OF EMPIRICAL MODE DECOMPOSITION IN TOOTH CRACK DIAGNOSIS

Summary. The work presents results of an experiment that employs empirical mode decomposition in the task of identification of the degree of tooth root cracking.

1. WPROWADZENIE

Rozwój techniki stwarza coraz to nowe zapotrzebowania na środki diagnostyczne. Zmiany stanu diagnozowanych przekładni mają istotny wpływ na strukturę sygnału wibroakustycznego. Zarejestrowane sygnały wibroakustyczne należy przetwarzać stosując odpowiednie miary sygnałów tak, by stanowiły one symptomy świadczące o intensywności i zaawansowaniu zużycia [4,5,7,8]. Głównym celem diagnostyki maszyn jest wykrycie uszkodzeń już we wczesnej fazie ich wystąpienia. Szczególnego znaczenia nabierają tutaj metody diagnostyki nieinwazyjnej, do których należą metody diagnostyki wibroakustycznej [1,4,6,7,8,9]. Wykorzystują one jako nośnik informacji sygnał drganiowy i akustyczny. Zawarte w sygnale symptomy uszkodzenia są trudne do zidentyfikowania na podstawie surowych danych pomiarowych. Do analizy zmierzonych sygnałów WA i identyfikacji na ich podstawie rodzaju i stopnia uszkodzenia stosuje się szereg metod analizy sygnałów.

W przekładniach zębatych mamy do czynienia ze zjawiskami modulacji sygnału nośnego, którym zazwyczaj są wysokoczęstotliwościowe sygnały zazębienia lub częstotliwości rezonansowe elementów przekładni. W przekładni zębatej istnieje wiele przyczyn modulacji amplitudowo-częstotliwościowej. Podczas eksploatacji przekładni zachodzą procesy zużyciowe i degradacyjne, które mają wpływ na parametry sygnałów modulujących. Potwierdzeniem tego może być fakt, że analiza obwiedni sygnału w pasmach częstotliwości związanych z zazębieniem jest jedną z bardziej efektywnych metod diagnostyki przekładni stosowanych w praktyce. Odpowiednie przetwarzanie sygnałów w dziedzinie czasu i częstotliwości umożliwia określenie stopnia i rodzaju modulacji sygnału nośnego.

2. OPIS ALGORYTMU DEKOMPOZYCJI SYGNAŁU

Celem eksperymentu było zastosowanie empirical mode decomposition (EMD) w zadaniu diagnostyki uszkodzeń kół zębatych [2].

Algorytm EMD składa się z następujących etapów:

a) zidentyfikowanie lokalnych minimów l(t) oraz maksimów u(t) sygnału X(t),

b) wyznaczenie średniej wartości m(t) z obwiedni minimów i maksimów,

c) wyznaczenie pierwszej składowej

$$X_1(t) - m_1(t) = h_1(t), \tag{1}$$

d) zidentyfikowanie lokalnych minimów l(t) oraz maksimów u(t) sygnału $h_1(t)$,

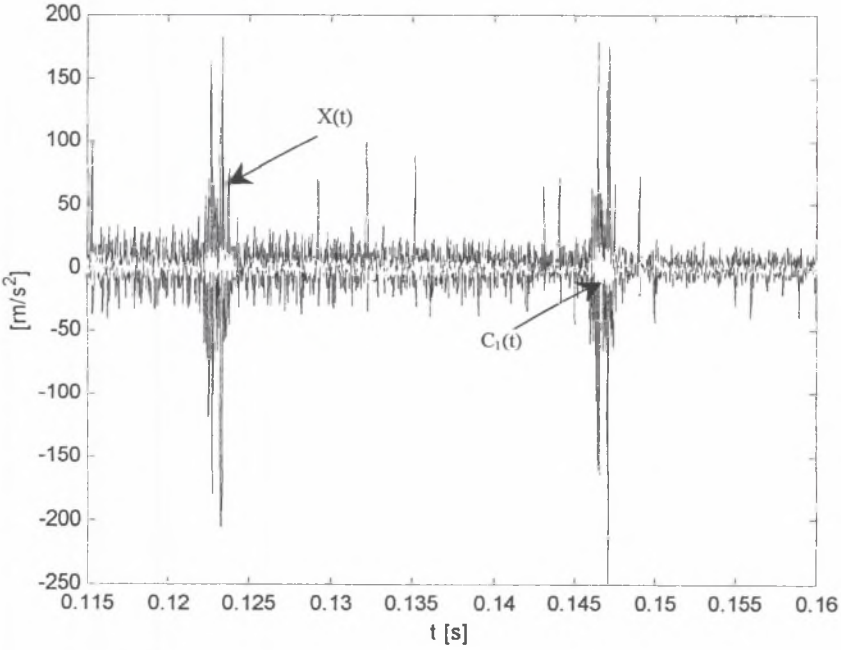
Powyższy algorytm powtarza się do momentu, gdy:

- liczba ekstremów i zmian znaku funkcji są równe,
- średnia wartość lokalnych minimów i maksimów jest równa zero.

Wyznaczoną wielkość nazywa się pierwszą IMF (intrinsic mode functions) [2]:

$$C_1 = h_{1k}(t) \tag{2}$$

Na rysunku 1 przedstawiono przykładowy sygnał przyspieszeń drgań poprzecznych wału koła.



Rys. 1. Porównanie sygnału diagnostycznego i pierwszego IMF
Fig. 1. Comparison of acceleration and first IMF

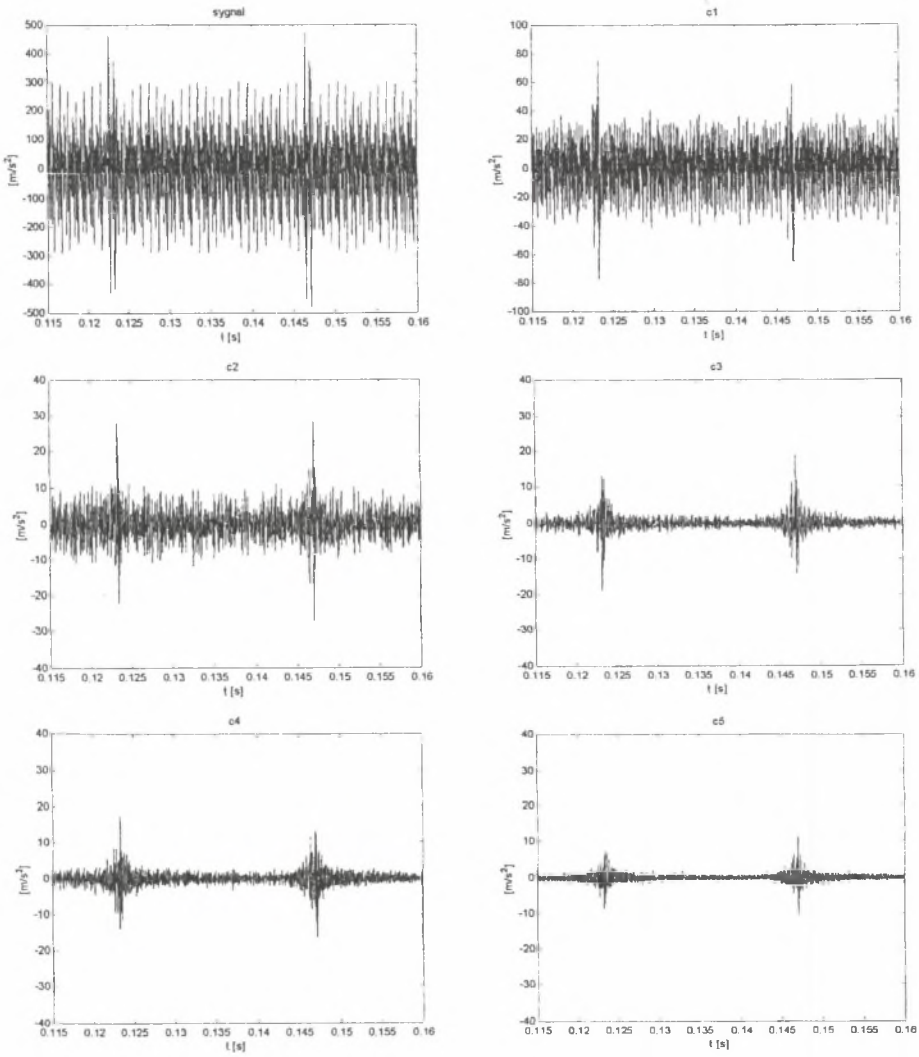
Następne kroki analizy prowadzą do wyznaczenia kolejnych IMF.

Ostatecznie sygnał diagnostyczny X(t) zostaje rozłożony na następujące składowe [2]:

$$X(t) = \sum_{k=1}^{n} C_k(t) + r_n(t) \tag{3}$$

gdzie: r_n – sygnał monotoniczny.

Przykładowy wynik wyznaczenia IMF przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Przykładowy wynik wyznaczenia IMF
Fig.2. Decomposition of signal into IMF

Wykorzystując transformatę Hilberta na kolejnych sygnałach IMF otrzymujemy [2]:

$$X(t) = \mathrm{Re}\left[\sum_{k=1}^{n} a_k(t) e^{j\int \omega_k(t)dt}\right] \tag{4}$$

gdzie: a(t) – amplituda.

Wyznaczając energię rozkładu czasowo-częstotliwościowego Hilberta-Hanga otrzymujemy [2]:

$$E(t) = \int_{\omega_1}^{\omega_2} H^2(\omega, t) d\omega \tag{5}$$

gdzie: H(ω,t) – rozkład Hilberta-Huanga.

3. PRZYKŁAD ZASTOSOWANIE EMD

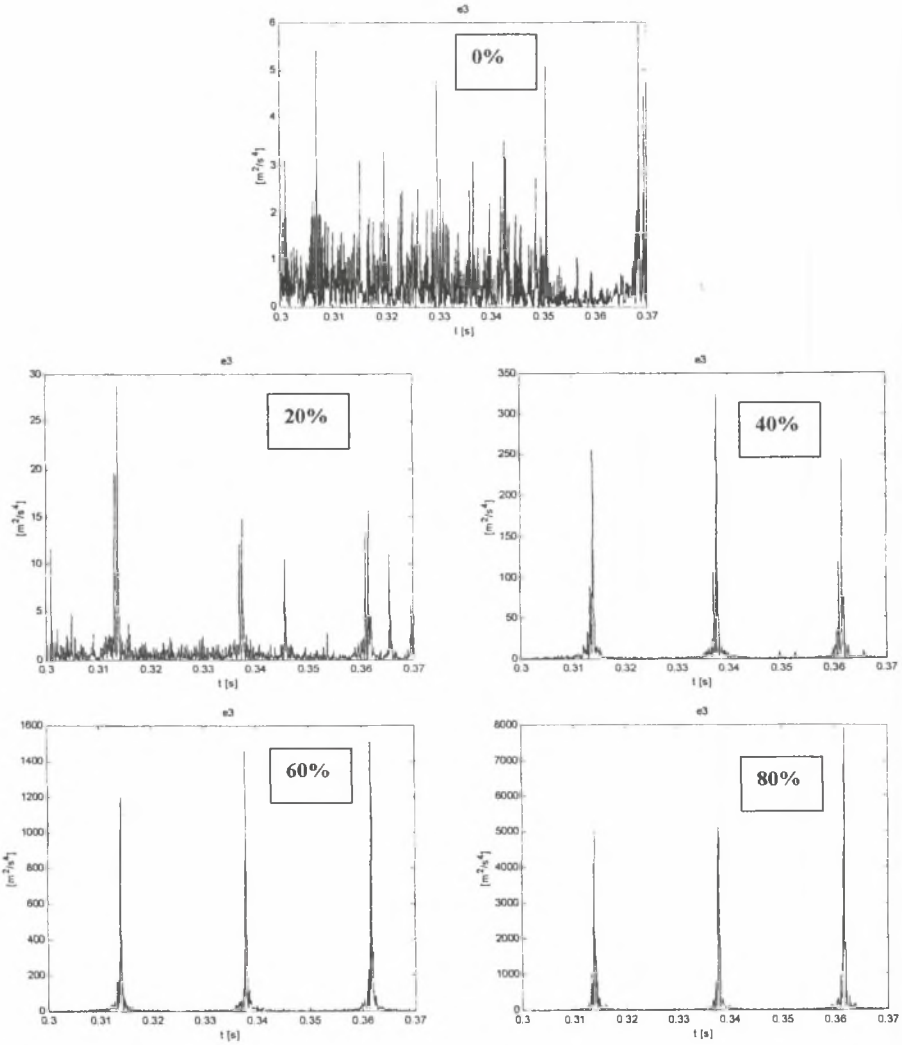
Eksperyment oparto na zidentyfikowanym modelu dynamicznym przekładni zębatej pracującej w układzie mocy krążącej [3].

Zidentyfikowany model posłużył do symulacji przyspieszeń drgań wału zębnika. Zasymulowano uszkodzenia w postaci podcięcia w stopie zęba. Zaawansowanie pęknięcia u podstawy zęba polegało na obniżeniu jego sztywności o ustaloną wartość w stosunku do sztywności zęba nieuszkodzonego.

Przeprowadzono dekompozycję sygnału przyspieszeń drgań za pomocą EMD [2]. Otrzymane sygnały posłużyły do wyznaczenia spektrum Hilberta-Huanga [2].

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki eksperymentu dla przekładni nieuszkodzonej oraz przekładni o zmniejszonej sztywności zazębienia w stosunku do nieuszkodzonej przekładni o:

- 20%,
- 40%,
- 60%,
- 80%.



Rys. 3. Energia spektrum Hilberta-Huanga
Fig. 3. Energy of Hilbert-Huang's spectrum

Analiza rysunku 3 potwierdza skuteczność EMD w diagnostyce lokalnych uszkodzeń kół zębatych. Już 20% zmiana sztywności zazębienia w stosunku do nieuszkodzonej przekładni powoduje pięciokrotny wzrost energii rozkładu Hilberta-Huanga. Natomiast spadek sztywności o 60% powoduje prawie 60-krotny wzrost wartości energii.

Literatura

1. Baydar N., Ball A.: Detection of gear failures via vibration and acoustic signals using wavelet transform. Mechanical Systems and Signal Processing 17(4)/2003.
2. Loutridis S.: Damage detection in gear systems using empirical mode decomposition. Engineering Structures, 26/2004.
3. Łazarz B.: Zidentyfikowany model dynamiczny przekładni zębatej jako podstawa projektowania. Biblioteka Problemów Eksploatacji, Katowice-Radom 2001.
4. Łazarz B., Wojnar G.: Wykorzystanie analizy falkowej w diagnozowaniu lokalnych uszkodzeń kół zębatych. Diagnostyka'30. 2004.
5. Madej H., Czech P., Konieczny Ł.: Wykorzystanie dyskryminant bezwymiarowych w diagnostyce przekładni zębatych. Diagnostyka vol. 28, 2003.
6. Peng Z. K., Chu F. L.: Application of the wavelet transform in machine condition monitoring and fault diagnostics. Mechanical Systems and Signal Processing 18/2004.
7. Wilk A., Łazarz B., Madej H.: Diagnostyka wibroakustyczna przekładni zębatych. V Krajowa Konferencja Diagnostyka Techniczna Urządzeń i Systemów. Diag'2003. Ustroń.
8. Wilk A., Łazarz B., Madej H.: The application of wavelet analysis in the diagnosis of toothed wheels damages. Proceed. InterNoise'99, USA s. 933-938.
9. H. Zheng, Z. Li, X. Chen: Gear fault diagnosis based on continuous wavelet transform. Mechanical Systems and Signal Processing 16(2-3)/2002.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Dąbrowski

Publikacja powstała w wyniku realizacji pracy 5 T07B 02425