

Bogusław ŁAZARZ, Piotr CZECH

WIDMO ILOCZYNOWE, WIDMO POLIHARMONICZNE, KORELACJA I KOHERENCJA JAKO ŹRÓDŁO DANYCH WEJŚCIOWYCH DLA SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH

Streszczenie. W opracowaniu przedstawiono wyniki eksperymentu mającego na celu znalezienie miar określających stopień uszkodzenia kół zębatych. Poszukiwano miar, które następnie posłużyłyby jako dane wejściowe w badaniach nad zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych w diagnostyce przekładni zębatych.

THE HARMONIC PRODUCT SPECTRUM, CORRELATION, COVARIANCE AS INPUT DATA OF THE ARTYFICIAL NEURAL NETWORK

Summary. The work presents results of an experiment carried out in order to define simple measures which fully describe the degree of tooth root cracking. The key feature of the measures sought was the ability of using them as input data for a research in the application of Artificial Neural Networks in the tooth gear diagnostics.

1. WPROWADZENIE

Diagnostyka maszyn jest obszarem wiedzy zajmującym się rozpoznawaniem stanu maszyn na podstawie obserwacji zewnętrznych skutków metodami bezinwazyjnymi. Szybki i wielokierunkowy rozwój metodologii diagnostycznej w ostatnich latach spowodował powstanie nowych metod stosowanych w systemach lokalizacji uszkodzeń oraz rozpoznawania stanu obiektów [11]. W ostatnich latach można zaobserwować bardzo dynamiczny rozwój metod diagnostycznych wykorzystujących sztuczną inteligencję w diagnozowaniu stanu urządzeń. Jedną z metod należących do tej grupy są sztuczne sieci neuronowe, które znajdują zastosowanie w coraz to nowych obszarach wiedzy. Sieci neuronowe należą do wyrafinowanych technik modelowania, zdolnych do odwzorowania nadzwyczaj złożonych funkcji z dużą liczbą zmiennych niezależnych [10].

Zasada działania sztucznych sieci neuronowych opiera się na działaniu systemu nerwowego istot żywych [7]. Sztuczna sieć neuronowa składa się z połączonych ze sobą elementów, zwanych neuronami, które zostają zaopatrzone w wiedzę w procesie uczenia [7,10]. W procesie tym zostają pokazane kolejno dane, które sieć w procesie uczenia uogólnia. Nauczona sztuczna sieć neuronowa korzysta ze swojej wiedzy na zasadzie asocjacji, podobnie jak dzieje się to w mózgu człowieka [6].

Aby sztuczna sieć neuronowa posiadała odpowiedni zasób wiedzy, dane służące do jej treningu muszą zawierać informacje o obszarach stanowiących obrazy wzorcowe uszkodzeń lub stanów [2].

W przeprowadzonym eksperymencie postanowiono sprawdzić, czy takie analizy sygnałów jak: widmo iloczynowe, widmo poliharmoniczne, korelacja i koherencja nadają się jako źródło danych wejściowych dla sztucznych sieci neuronowych.

2. OPIS EKSPERYMENTU

Celem eksperymentu było znalezienie miar, które nadają się do zastosowania jako dane wejściowe dla sztucznych sieci neuronowych, pozwalając na detekcje i identyfikacje uszkodzeń kół zębatach.

Obiektem badań symulacyjnych była przekładnia zębata pracująca w układzie mocy krążącej [4]. Parametry badanej przekładni zębatej użytej w eksperymencie przedstawia tabela 1.

Tabela 1

Parametry przekładni zębatej

<i>Parametr:</i>	<i>Wartość:</i>
Liczba zębów zębnika	16
Liczba zębów koła	24
Kąt pochylenia linii zęba	0°
Nominalny kąt przyporu	20°
Moduł nominalny	4,5 mm
Szerokość koła	20 mm
Nominalny moment obrotowy	138 Nm
Prędkość obrotowa zębnika	2680 obr./min

Zidentyfikowny model przekładni posłużył do symulacji przyspieszeń drgań zębnika przy różnym stopniu rozwoju pęknięcia u podstawy zęba. Symulowanie pęknięcia zęba u podstawy polegało na obniżeniu jego sztywności o ustaloną wartość w stosunku do sztywności zęba nieuszkodzonego.

Symulacje przeprowadzono w trzech seriach, w zależności od wartości błędów cyklicznych i losowych. W pierwszej serii przekładnia zębata była pozbawiona błędów cyklicznych i losowych. Dla drugiej serii symulacji błąd cykliczny dla zębnika wynosił – 7 μm /długość podziałki, zaś dla koła 5 μm /długość podziałki. Błędy losowe zostały ustalone na poziomie $\pm 4,5 \mu\text{m}$ dla zębnika i koła. W trzeciej serii błędy cykliczne i losowe zostały podwojone. W celu sprawdzenia powtarzalności wyników serię drugą i trzecią przeprowadzono pięciokrotnie przy różnych błędach losowych.

Każdą symulację przeprowadzono dla uszkodzenia zęba w postaci podcięcia jego podstawy w zakresie od 0 do 100%. W sumie otrzymano 1111 symulacji.

Ponieważ wraz ze wzrostem zużycia lub degradacji właściwości eksploatacyjnych urządzeń wzrasta dysypacja energii, a wraz z nią drgania, w eksperymencie za źródło residuów posłużył sygnał czasowy przyspieszeń drgań wału zębnika [9]. Jako miary

określające wystąpienie i stopień uszkodzenia kół zębatach przyjęto miary położenia, miary różnicowania, miary asymetrii i kurtozy [3]. Miary te należą zarówno do estymat prostych (miar punktowych), jak i estymat specjalnych (dyskryminant) [1].

W eksperymencie wyznaczono szereg miar, między innymi wartość skuteczną (RMS), wartość szczytową (peak), momenty centralne rzędu 1÷10, współczynnik zmienności, współczynnik skupienia, współczynnik asymetrii, współczynnik kształtu, współczynnik impulsowości, współczynnik luzu, współczynnik szczytu, dyskryminanty bezwymiarowe $X0÷X10$.

Poszczególne miary były wyznaczone dla przebiegów czasowych przyspieszeń drgań zębniaka będących sygnałami korelacji i koherencji oraz sygnałami czasowymi uzyskanymi z widma iloczynowego i poliharmonicznego. Metodologia eksperymentu została przedstawiona na rysunku 1.

Widmo iloczynowe może być obliczone wprost z gęstości widmowej mocy bez konieczności powtórnej transformaty Fouriera.

$$P(f_p) = \sqrt{\prod_{n=1}^N G_{uu}(n \cdot f_p)} \quad (1)$$

gdzie:

G_{uu} – gęstość widmowa mocy,

f_p – wybrana częstotliwość, $f_p \in \left(0, \frac{\Delta F}{3}\right)$,

$n f_p$ – kolejne harmoniczne.

Widmo iloczynowe powstaje przez utworzenie iloczynów kolejnych harmonicznych wybranej częstotliwości f_p . Zakres wyboru częstotliwości f_p jest ograniczony do jednej trzeciej pasma całego widma [1].

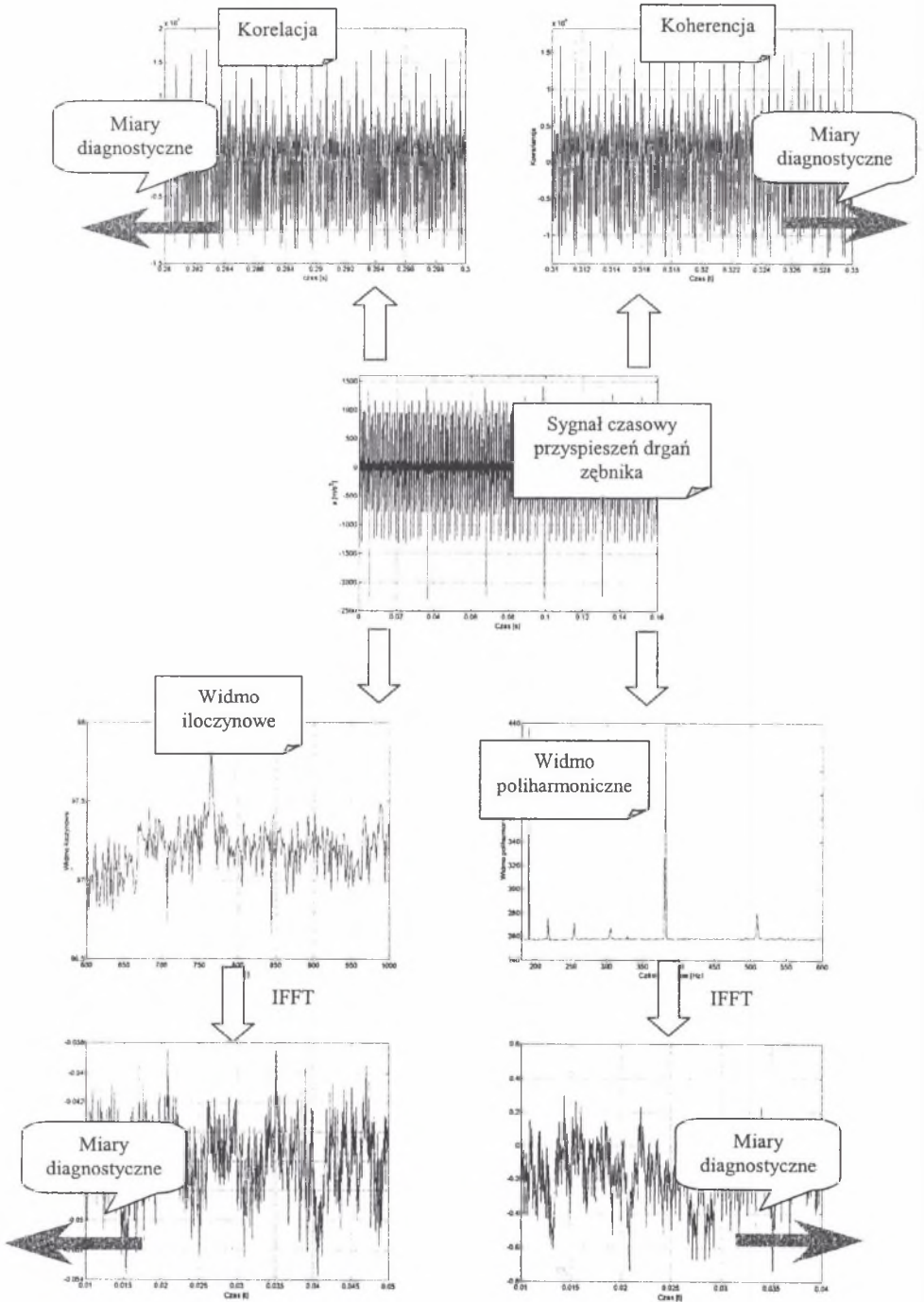
Widmo poliharmoniczne powstaje przez zastąpienie we wzorze na widmo iloczynowe iloczynu sumą, a pierwiastka dzieleniem przez liczbę elementów sumy.

$$P(f_p) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N G_{uu}(n \cdot f_p) \quad (2)$$

3. WYNIKI I WNIOSKI Z EKSPERYMENTU BADAWCZEGO

Poprawne działanie sztucznej sieci neuronowej wymaga stosowania takich miar na wejściach sieci, w których będą zapisane niezbędne dane umożliwiające sieci prawidłową klasyfikację obiektów [2]. Eksperyment miał dostarczyć informacji dotyczących możliwości zastosowania miar statystycznych wyliczonych z sygnałów czasowych korelacji i koherencji oraz sygnałów czasowych otrzymanych z widma iloczynowego i poliharmonicznego. Dane takie muszą charakteryzować w sposób kompletny, pełny i jednoznaczny badane zjawisko. W celu określenia stopnia podcięcia zęba, klasyfikator musi posiadać wystarczającą wiedzę, która pozwoli mu odróżnić poszczególne poziomy uszkodzeń.

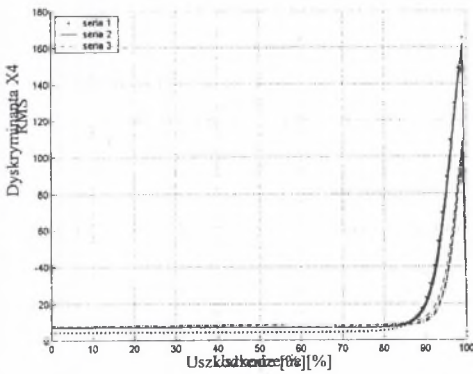
Przeprowadzone analizy wybranych miar pokazują, że żadna z nich nie jest wrażliwa w całym zakresie zmian uszkodzenia i nie może być użyta samodzielnie jako miara określająca dokładnie stopień uszkodzenia zęba.



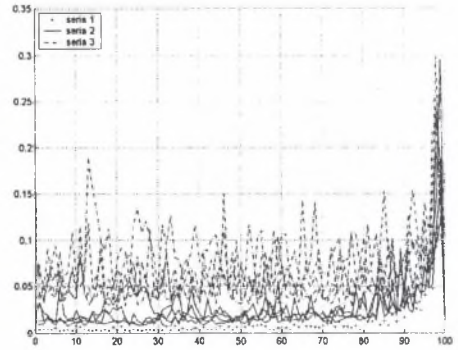
Rys. 1. Metodologia wyznaczania miar diagnostycznych
Fig. 1. Methodology of diagnostic measures calculation

Część miar wykazuje stałość, czyli całkowity brak wrażliwości na badane uszkodzenie kół zębatach. Do takich miar należy między innymi dyskryminanta X_4 otrzymana z sygnału czasowego korelacji (rys. 2). Eksperyment wykazał również, że część miar nie nadaje się jako dane wejściowe dla sztucznych sieci neuronowych, ponieważ miary te zachowywały się zgodnie z dynamiką chaosu [8]. Przykład tego rodzaju miary został przedstawiony na rysunku 3. Do miar, dla których wrażliwość obejmuje najszerszy zakres stopnia uszkodzenia kół zębatach, należy między innymi wartość pozycyjnego współczynnika zmienności otrzymanego z sygnału czasowego z widma poliharmonicznego (rys. 4).

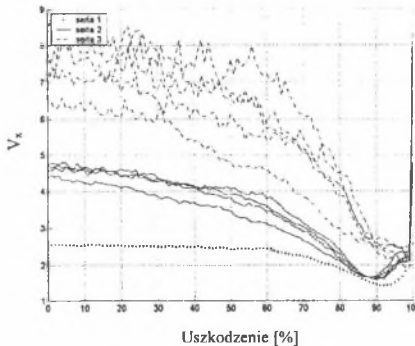
Najlepszą miarą lub zespołem miar byłyby estymaty, których wartości zmieniałyby się w całym zakresie poziomu uszkodzenia ($0 \div 100\%$ podcięcia zęba). Sieć nauczona na takich danych wejściowych, wykorzystując swoje możliwości uogólniania wiedzy potrafiłaby określić dokładnie stopień uszkodzenia zębów przekładni pracujących w zmiennych warunkach pracy (obciążenie, prędkość obrotowa) oraz dla różnych klas dokładności wykonania przekładni.



Rys. 2. Zależność dyskryminanty bezwymiarowej X_4 obliczonej na podstawie sygnału czasowego korelacji od stopnia podcięcia zęba
Fig. 2. Dependence of X_4 measure upon a degree of tooth root cracking



Rys. 3. Wartości skuteczna sygnału czasowego otrzymana z widma iloczynowego w funkcji stopnia podcięcia zęba
Fig. 3. Dependence of the RMS upon a degree of tooth root cracking



Rys. 4. Wartość pozycyjnego współczynnika zmienności sygnału czasowego określonego na podstawie widma poliharmonicznego w funkcji stopnia podcięcia zęba
Fig. 4. Dependence of V_x measure upon a degree of tooth root cracking

Kolejne badania mające na celu znalezienie miar odpowiednich jako dane wejściowe dla sztucznych sieci neuronowych powinny objąć poszukiwanie odpowiednich miar sygnałów cepstrum, bispectrum, transformaty falkowej lub Wignera-Ville'a itp.

Literatura

- 1 Cempel C.: Diagnostyka wibroakustyczna maszyn, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1989.
- 2 Korbicz J., Kościelny J., Kowalczyk Z., Cholewa W.: Diagnostyka procesów. Modele. Metody sztucznej inteligencji. Zastosowania, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002.
- 3 Luszczewicz A., Słaby T.: Statystyka. Teoria i zastosowania, Wydawnictwo C.H.Beck, Warszawa 2003.
- 4 Łazarz B.: Zidentyfikowany model dynamiczny przekładni zębatej jako podstawa z projektowania. Biblioteka Problemów Eksploatacji, Katowice-Radom 2001.
- 5 Madej H., Czech P., Konieczny Ł.: Wykorzystanie dyskryminant bezwymiarowych w diagnostyce przekładni zębatych, Diagnostyka nr 28, 2003.
- 6 Nałęcz M., Duch W., Korbowicz J., Rutkowski L., Tadeusiewicz R.: Sieci neuronowe. Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna 2000, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2000.
- 7 Osowski S.: Sieci neuronowe do przetwarzania informacji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.
- 8 Ott Edward: Chaos w układach dynamicznych, WNT Warszawa, 1997.
- 9 Radkowski S.: Wibroakustyczna diagnostyka uszkodzeń niskoenergetycznych, Biblioteka Problemów Eksploatacyjnych, Warszawa-Radom 2002.
- 10 Tadeusiewicz R.: Sieci neuronowe, Akademicka Oficyna Wydawnicza, Warszawa 1993.
- 11 Wilk A., Łazarz B., Madej H.: Vibration Processing Techniques for Fault Detection in Gearboxes, Proceedings of DETC'2003 ASME 2003 Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference Chicago, Illinois, USA, 2003.

Abstract

Application of artificial neural network as an identification system determines usage of the input measures defining such data set that enables correct classification of the objects. As a test result of the input measures is its insensibility in the whole range of varied damage.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Wieczorek