

ZASTOSOWANIE METODY NIEPARAMETRYCZNEGO WYGŁADZANIA KRZYWYCH DO ANALIZY DANYCH ZMIERZONYCH NA OBIEKCIE RZECZYWISTYM METODĄ TESTU IMPULSOWEGO

Joanna IWANIEC

Katedra Robotyki i Dynamiki Maszyn, Akademia Górniczo-Hutnicza
Aleja Mickiewicza 30, 30 – 059 Kraków
asical@poczta.onet.pl

Streszczenie

W pracy zaproponowano metodę umożliwiającą poprawianie jakości danych stanowiących podstawę do estymacji funkcji przejścia, zmierzonych metodą testu impulsowego na obiekcie rzeczywistym, dla którego nie jest możliwe poprawne wyznaczenie funkcji przejścia przy użyciu metod klasycznych ze względu na bardzo niskie wartości funkcji koherencji dla zmierzonych charakterystyk siły wymuszającej i odpowiedzi układu.

Słowa kluczowe: nieparametryczne metody wygładzania krzywych, funkcja przejścia, funkcja koherencji.

APPLICATION OF NONPARAMETRIC CURVE SMOOTHING METHODS TO ANALYSIS OF DATA MEASURED ON REAL OBJECT BY THE USE OF IMPULSE TEST

Summary

In the paper there is presented the new method for quality improvement of data measured on the real object by the use of impulse test. The method makes it possible to estimate transfer functions correctly in case when classical methods fail because of very low values of coherence function for measured characteristics of exciting force and system response.

Key words: nonparametric curve smoothing methods, transfer function, coherence function.

1. WPROWADZENIE

Analiza modalna należy do powszechnie stosowanych narzędzi umożliwiających badanie właściwości dynamicznych układów mechanicznych [3]. Zidentyfikowane modele modalne stanowią podstawę do wnioskowania o stanie, stopniu zużycia oraz parametrach eksploatacyjnych tych układów. Poprawność uzyskiwanych rezultatów oraz trafność formułowanych wniosków zależy od dostępności komputerowych systemów wspomagania analizy dynamiki konstrukcji realizujących szybkie i niezawodne metody identyfikacji jak również umożliwiające poprawę jakości estymowanych rozwiązań poprzez redukcję błędów numerycznych oraz redukcję szumów analizowanych danych pomiarowych.

W pracy sformułowano własny algorytm analizowania silnie zaszumionych charakterystyk zmierzonych na obiektach rzeczywistych, dla których nie jest możliwe poprawne wyznaczenie funkcji przejścia przy użyciu metod klasycznych ze względu na bardzo niskie wartości funkcji koherencji dla zmierzonych charakterystyk siły wymuszającej i odpowiedzi układu.

Proponowana metoda polega na poprawianiu koherencji pomiędzy charakterystykami siły wymuszającej i odpowiedzi układu poprzez filtrację

szumów zakłócających zmierzone odpowiedzi układu przy użyciu filtru falkowego [1] oraz redukcję błędów aparatury pomiarowej zakłócających zmierzone charakterystyki sił wymuszających przy użyciu własnego oprogramowania wykorzystującego metodę 'Moving Average'. Omawiany algorytm postępowania zaimplementowano w Matlabie i zweryfikowano dla danych zmierzonych na obiekcie rzeczywistym – turbinie parowej - podczas pracy pozostałych bloków energetycznych.

2. OBIEKT BADAŃ. EKSPERYMENT IDENTYFIKACYJNY

Przedmiotem badań była trzystopniowa turbina parowa typu 13K215 o mocy 200 MW współpracująca z generatorem TWW 20 (rys. 1). Eksperyment został przeprowadzony przy wirniku wyjętym z turbiny. Obiekt pobudzano do drgań ciągiem impulsów siły, generowanych za pomocą młotka modalnego. Kierunek działania siły był prostopadły do osi turbiny i przechodził przez miejsca łożyskowania.

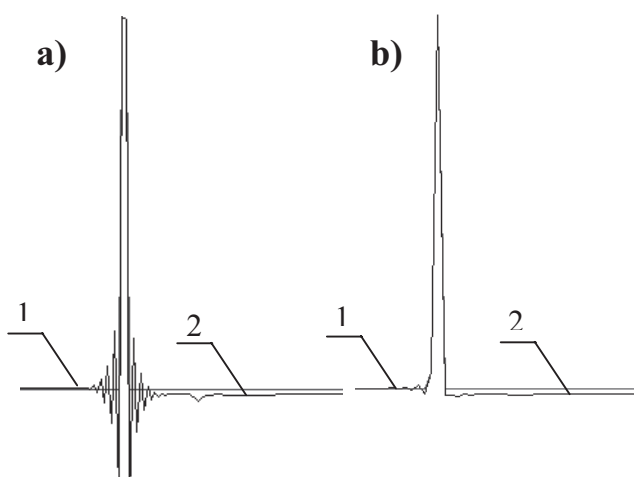


Rys. 1. Badany obiekt [4]

Odpowiedzi układu (przyspieszenia drgań) zostały zmierzone w miejscach przyłożenia siły na 1 i 2 łożysku a następnie zarejestrowane przy użyciu analizatora SCADAS.

3. ANALIZA ZMIERZONYCH DANYCH

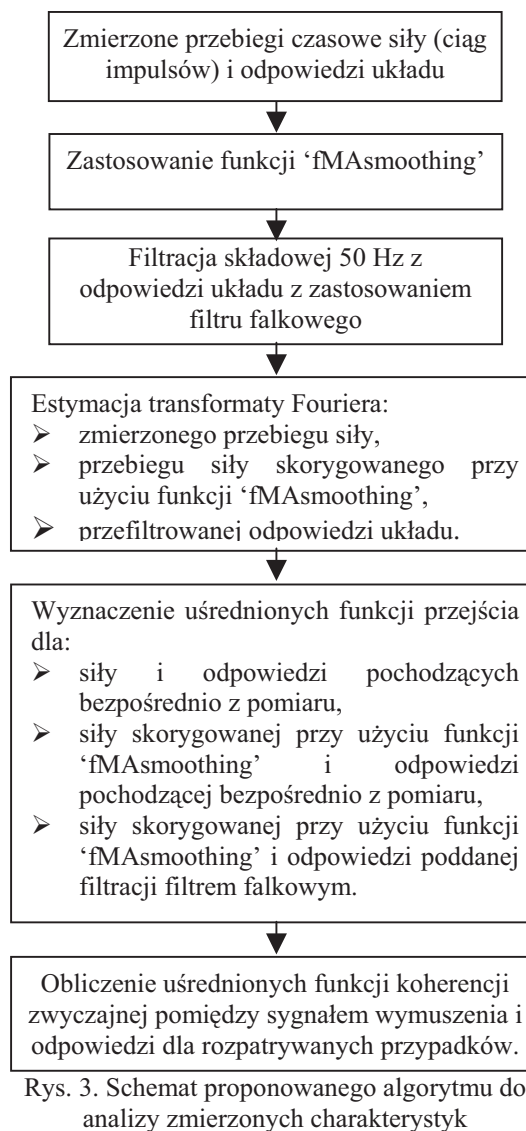
Zmierzone sygnały użyteczne są zakłócone szumami pomiarowymi jak również błędami aparatury pomiarowej. W zarejestrowanej odpowiedzi układu dominuje składowa o częstotliwości 50 Hz pochodząca od pracy innych bloków energetycznych. Na jakość rejestrowanych danych miały również wpływ parametry fizyczne badanego obiektu (duża masa) i związane z tym problemy ze wzbudzeniem obiektu do drgań za pomocą uderzenia przy użyciu młotka modalnego. Zmierzone przebiegi czasowe siły obciążone są natomiast błędami aparatury pomiarowej, widocznymi na rys. 2 jako różnice w poziomach amplitudy siły przed (1) i bezpośrednio po (2) kolejnych impulsach [2].



Rys. 2. Zmierzone impulsy siły wymuszającej oraz charakterystyki skorygowane przy użyciu proponowanego oprogramowania

W celu poprawienia jakości analizowanych danych oraz umożliwienia estymacji funkcji

przejścia zaproponowano metodę przedstawioną schematycznie na rys. 3.

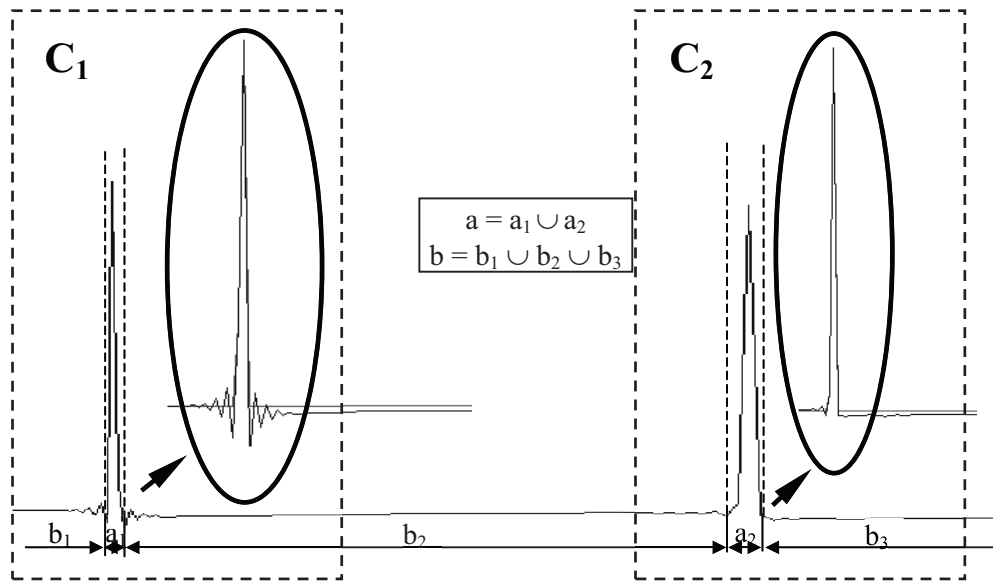


Rys. 3. Schemat proponowanego algorytmu do analizy zmierzonych charakterystyk

Algorytm działania omawianego oprogramowania składa się z kilku podstawowych kroków [2]:

- podziału zmierzonej charakterystyki siły na dwa przedziały: przedział zawierający kolejne impulsy siły ($\{a\}$) oraz przedział zawierający pozostałe elementy wektora siły ($\{b\}$).
- wygładzania przedziału $\{b\}$ metodą 'Moving Average' o szerokości pasma filtru równej długości zmierzonego przebiegu siły.
- wyznaczenia wygładzonej charakterystyki siły jako złożenia wartości siły pochodzącej bezpośrednio z pomiaru (przedział $\{a\}$) oraz wygładzonych wartości siły (przedział $\{b\}$).

Sposób dokonywania podziału na przedziały $\{a\}$ i $\{b\}$ przy użyciu funkcji 'fMAsmoothing' jak również postać otrzymywanych rezultatów zilustrowano schematem przedstawionym na rys. 4.



Rys. 4. Sposób dokonywania podziału na przedziały oraz postać otrzymywanych rezultatów przy użyciu funkcji 'fMAsmoothing'

W kolejnym kroku algorytmu, dla poszczególnych impulsów siły (rys. 4) i odpowiadających im odpowiedzi wyznaczono widma mocy wzajemnej $\{G_{FXn}\}$ oraz mocy własnej $\{G_{FFn}\}$:

$$\{G_{FXn}\} = \{resp_PSD\}\{F_PSD\}^* \quad (1)$$

$$\{G_{FFn}\} = \{F_PSD\}\{F_PSD\}^* \quad (2)$$

a następnie obliczono ich wartości uśrednione $\{G_{FX}\}$ oraz $\{G_{FF}\}$. Funkcje przejścia wyznaczono zgodnie ze wzorem:

$$\{tf\} = \frac{G_{FX}}{G_{FF}} \quad (3)$$

Rozpatrzono następujące charakterystyki:

- siła i odpowiedź pochodząca bezpośrednio z pomiaru,
- siła wygładzona metodą 'Moving Average' (przy użyciu utworzonego w ramach pracy oprogramowania 'fMAsmoothing') i odpowiedź pochodząca bezpośrednio z pomiaru,
- siła wygładzona metodą 'Moving Average' i odpowiedź poddana filtracji filtrem falkowym.

Dla rozpatrywanych przypadków obliczono uśrednione funkcje koherencji zwyczajnej pomiędzy sygnałem wymuszenia i odpowiedzi.

Na rys. 5 – rys. 11 przedstawiono rezultaty estymowane dla przebiegów siły 'F_dimp2' oraz odpowiedzi układu 'resp_dimp2' zmierzonych na 2 łożysku turbiny.

Rys. 5 przedstawia charakterystykę czasową siły 'F_dimp2' pochodzącą z pomiaru oraz charakterystykę otrzymaną w wyniku zastosowania utworzonej w ramach pracy funkcji 'fMAsmoothing'.

Następnie wyznaczono uśrednione charakterystyki amplitudowo – częstotliwościowe dla zmierzonej oraz skorygowanej przy użyciu funkcji 'fMAsmoothing' siły 'F_dimp2'.

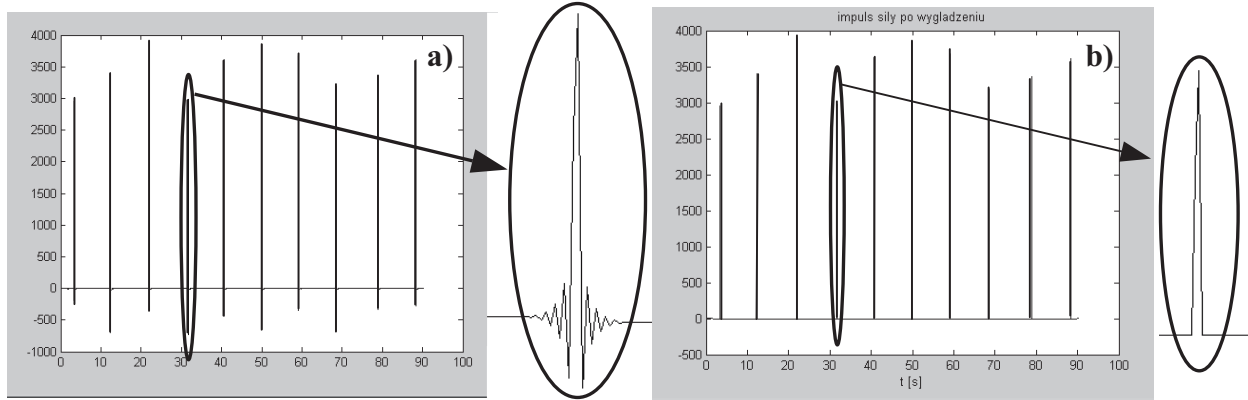
Odpowiedź układu zmierzona na drugim łożysku (rys. 6a) jest silnie zakłócona składową harmoniczną o częstotliwości 50 Hz pochodzącą od pracy innych bloków energetycznych. W celu wyeliminowania tego zakłócenia zmierzony sygnał poddano filtracji filtrem falkowym [1]. Uzyskane rezultaty przedstawiono na rys. 6b.

Charakterystyki amplitudowo – częstotliwościowe wyznaczone dla zmierzonej odpowiedzi układu (rys. 6a) oraz odpowiedzi układu poddanej filtracji filtrem falkowym (rys. 6b) zamieszczono na rys. 7a i rys. 7b.

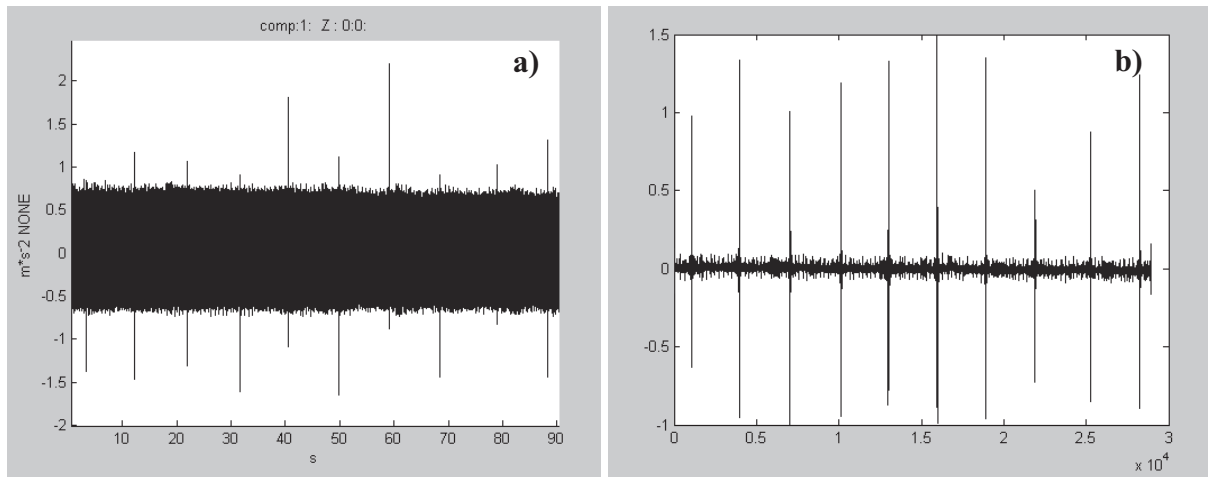
W kolejnym kroku algorytmu (rys. 3) przeprowadzono estymację uśrednionych funkcji przejścia dla trzech przypadków:

- zmierzonych charakterystyk odpowiedzi układu 'resp_dimp2' i siły wymuszającej 'F_dimp2' (rys. 8a, rys. 9a),
- zmierzonej odpowiedzi układu 'resp_dimp2' oraz siły wymuszającej 'F_dimp2' skorygowanej przy użyciu funkcji 'fMAsmoothing' (rys. 8b),
- odpowiedzi układu 'resp_dimp2' poddanej filtracji filtrem falkowym oraz siły wymuszającej 'F_dimp2' skorygowanej przy użyciu funkcji 'fMAsmoothing' (rys. 9b).

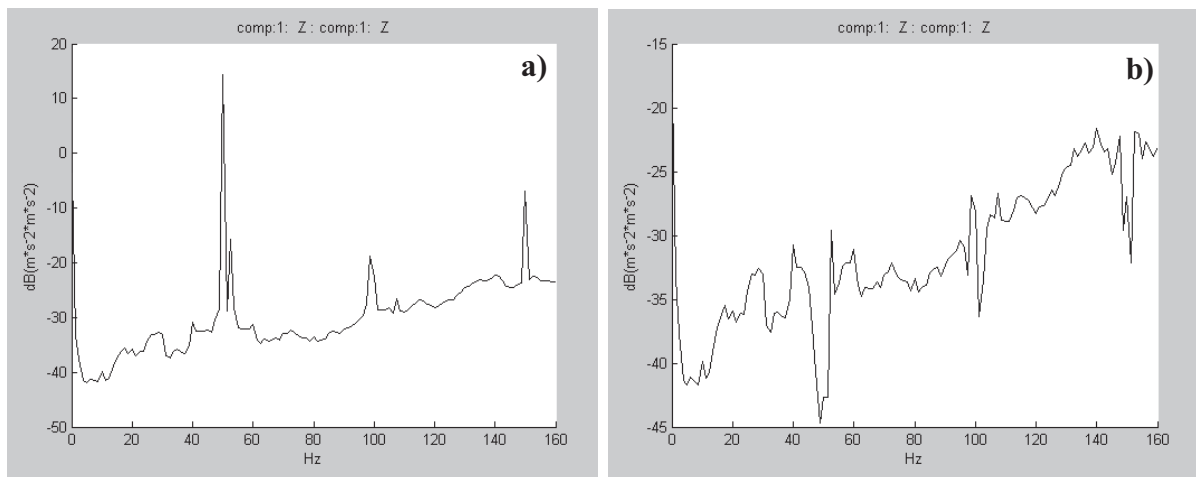
Dla rozpatrzonych powyżej przypadków wyznaczono uśrednione funkcje koherencji zwyczajnej pomiędzy siłami wymuszającymi i odpowiedziami układu (rys. 10, rys. 11).



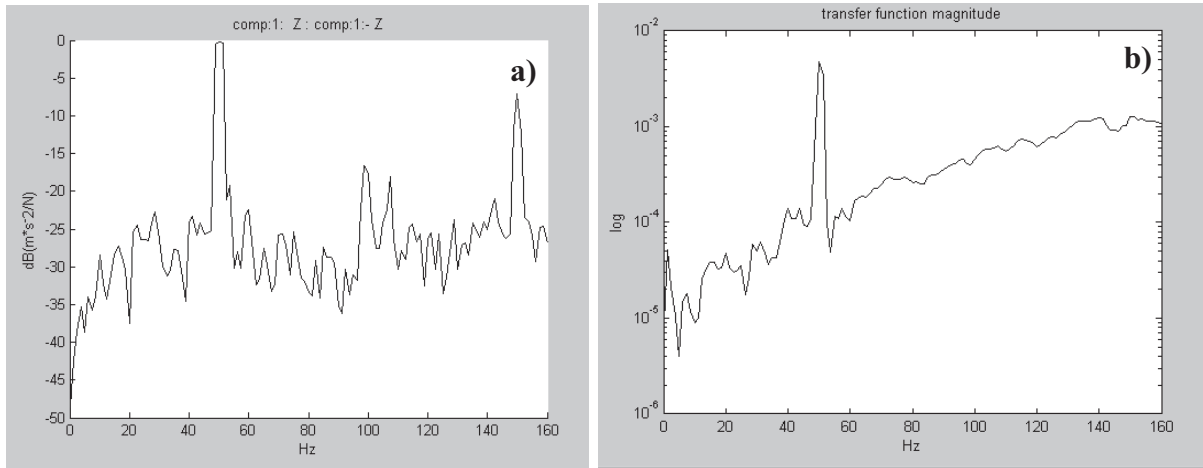
Rys. 5. Przebiegi czasowe siły 'F_dimp2': a) pochodzącej bezpośrednio z pomiaru, b) wygładzonej metodą 'Moving Average' realizowaną przez funkcję 'fMAsmoothing'



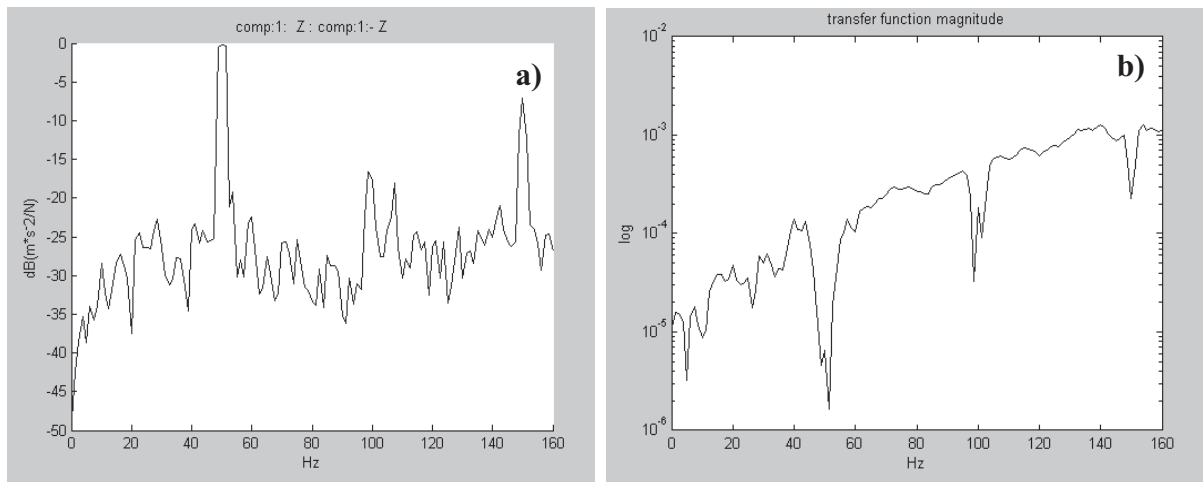
Rys. 6. Przebieg czasowy odpowiedzi układu 'resp_dimp2': a) pochodzący bezpośrednio z pomiaru, b) po filtracji filtrem Falkowym



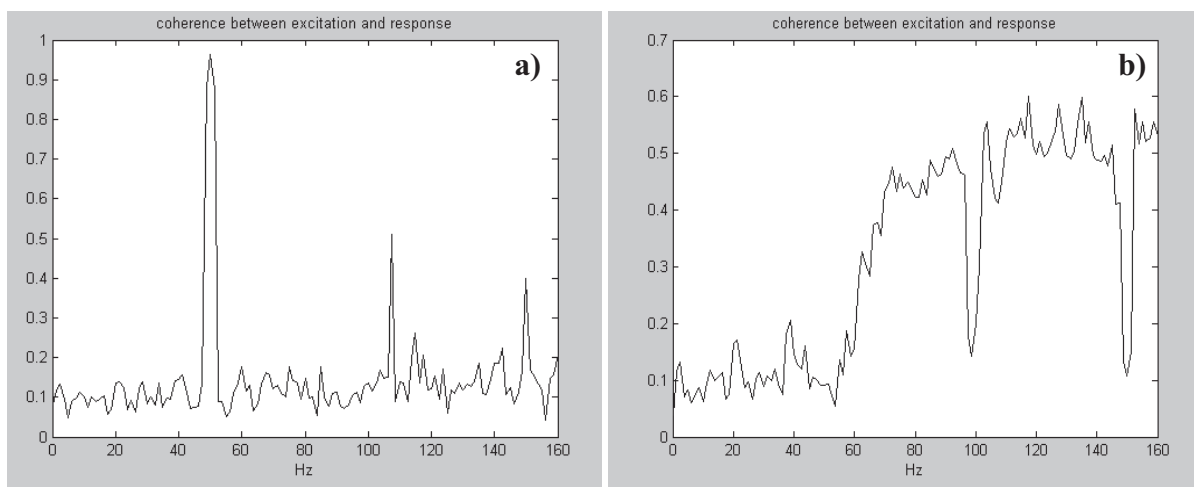
Rys. 7. Charakterystyki amplitudowo – częstotliwościowe odpowiedzi układu 'resp_dimp2': a) pochodzącej bezpośrednio z pomiaru, b) poddanej filtracji filtrem Falkowym



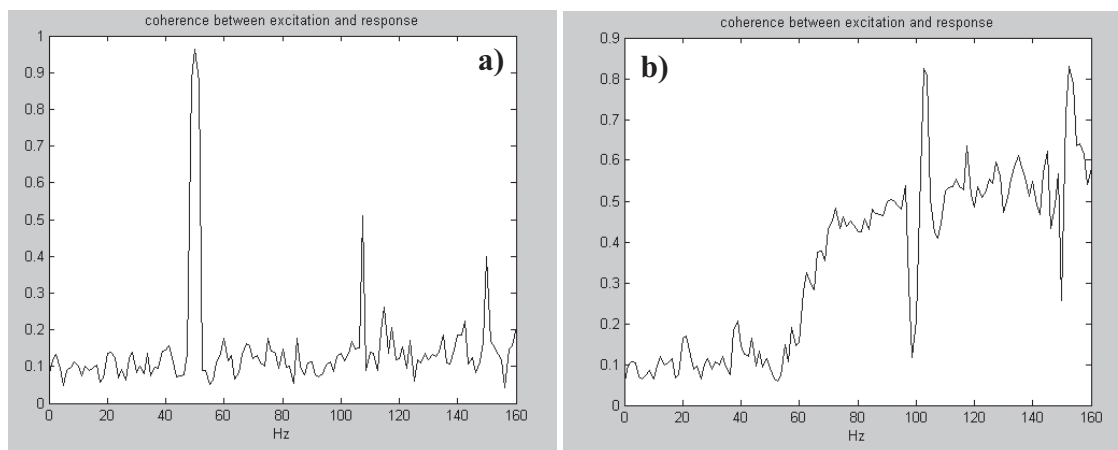
Rys. 8. Funkcje przejścia wyznaczone pomiędzy: a) odpowiedzią układu 'resp_dimp2' i siłą wymuszającą 'F_dimp2' pochodzącymi bezpośrednio z pomiaru, b) odpowiedzią układu 'resp_dimp2' pochodzącą bezpośrednio z pomiaru i siłą wymuszającą 'F_dimp2' skorygowaną przy użyciu utworzonego w ramach pracy oprogramowania



Rys. 9. Funkcje przejścia wyznaczone pomiędzy: a) odpowiedzią układu 'resp_dimp2' i siłą wymuszającą 'F_dimp2' pochodzącymi bezpośrednio z pomiaru, b) odpowiedzią układu 'resp_dimp2' poddaną filtracji filtrem falkowym i siłą wymuszającą 'F_dimp2' skorygowaną przy użyciu funkcji 'fMA Smoothing'



Rys. 10. Funkcje koherencji dla: a) odpowiedzi układu 'resp_dimp2' i siły wymuszającej 'F_dimp2' pochodzących bezpośrednio z pomiaru, b) odpowiedzi układu 'resp_dimp2' pochodzącej bezpośrednio z pomiaru i siły wymuszającej 'F_dimp2' poddanej wygładzaniu metodą 'Moving Average'



Rys. 11. Funkcje koherencji dla: a) odpowiedzi układu 'resp_dimp2' i siły wymuszającej 'F_dimp2' pochodzących bezpośrednio z pomiaru, b) odpowiedzi układu 'resp_dimp2' poddanej filtracji filtrem falkowym i siły wymuszającą 'F_dimp2' wygładzonej przy użyciu utworzonego w ramach pracy oprogramowania

Poza częstotliwością 50 Hz, dla której zaobserwowano duże zakłócenia pochodzące od pracy sieci energetycznej, wartości funkcji koherencji dla zmierzonych charakterystyk siły wymuszającej i odpowiedzi układu są niskie i wynoszą od 0,05 do 0,45.

Przeprowadzenie wygładzania charakterystyki siły wymuszającej przy użyciu funkcji 'fMAsmoothing' spowodowało poprawienie koherencji pomiędzy wygładzonym sygnałem siły i zmierzoną odpowiedzią układu. W tym przypadku wartości funkcji koherencji zawarte są w przedziale (0,1÷0,6).

Poddanie zmierzonej siły działaniu funkcji 'fMAsmoothing' oraz filtracja odpowiedzi układu filtrem falkowym spowodowały poprawienie wartości koherencji w porównaniu do przypadku, gdy zarówno siła jak i odpowiedź układu pochodzą bezpośrednio z pomiaru. Wartości funkcji koherencji w omawianym przypadku zmieniają się od około 0,1 do 0,8 i są wyższe od wartości funkcji koherencji wyznaczonych dla siły skorygowanej przy użyciu funkcji 'fMAsmoothing' i zmierzonej odpowiedzi układu.

4. PODSUMOWANIE

W pracy sformułowano własny algorytm analizowania silnie zaszumionych charakterystyk zmierzonych na obiekcie rzeczywistym metodą testu impulsowego. Metoda została opracowana dla obiektów o dużej masie (np. dużych turbozespołów), dla których występują problemy ze wzbudzeniem do drgań przy użyciu uderzenia realizowanego za pomocą młotka modalnego.

Proponowany algorytm postępowania zaimplementowano w Matlabie i zweryfikowano dla danych zmierzonych na obiekcie rzeczywistym.

Dla badanego obiektu nie jest możliwe poprawne wyznaczenie funkcji przejścia przy użyciu metod klasycznych ze względu na bardzo niskie

wartości funkcji koherencji dla zmierzonych charakterystyk siły wymuszającej i odpowiedzi układu (0,05 ÷ 0,35). Przeprowadzone badania potwierdziły przydatność utworzonego oprogramowania. W przypadku analizowanych danych zaobserwowano znaczący wzrost wartości funkcji koherencji dla skorygowanej siły wymuszającej i przefiltrowanej odpowiedzi układu w porównaniu do wartości funkcji koherencji uzyskanych dla danych pochodzących bezpośrednio z pomiaru.

LITERATURA

- [1]. Klepka A., Uhl T.: Zastosowanie transformaty falkowej w analizie modalnej, Współczesne zagadnienia analizy modalnej (praca zbiorowa pod redakcją T. Uhla), ITE, Radom, 2004.
- [2]. Mendrok K., Iwaniec J., Uhl T.: Identyfikacja sił działających na napęd rozjazdu kolejowego, Współczesne zagadnienia analizy modalnej (praca zbiorowa pod redakcją T. Uhla), ITE, Radom, 2004.
- [3]. Żółtowski B.: Trendy rozwojowe w diagnostyce maszyn, II International Congress of Technical Diagnostics, Diagnostyka 2000, Invited Papers, Vol. 1, Warszawa, 2000.
- [4]. www.elko.com.pl



Autorka zajmuje się metodami poprawiania uwarunkowania zagadnień źle zdefiniowanych oraz zagadnieniami dotyczącymi poprawiania jakości estymacji parametrów modeli modalnych.