

## BADANIA CHARAKTERYSTYK SYGNAŁÓW DIAGNOSTYCZNYCH

Izabela JÓZEFczyk, Waldemar KUROWSKI, Andrzej PANKOWSKI

Zakład Matematyki i Fizyki  
Płocka Szkoła Nauk Technicznych i Społecznych  
Płock 09 - 400 ul. Łukasiewicza 17  
apan@us.us.plock.pl

### Streszczenie

Sygnały diagnostyczne niosą zakodowane informacje o urządzeniach technicznych, które je wygenerowały. Aby odczytać te informacje, sygnał należy pobrać, przetworzyć A/C i odpowiednio obrobić. Komputery osobiste pozwalają na rachunkowe wyznaczenie charakterystyk sygnałów. Może to być widmo falkowe lub częstotliwościowe widmo wzajemne. Charakterystyki dyskretne wyznaczone na drodze numerycznej obróbki sygnału, różnią się od charakterystyk uzyskanych metodami analogowymi, pod względem wytwarzania i prezentacji informacji. Dla rozpoznania tych różnic zaproponowano eksperyment numeryczny na modelu symulacyjnym sygnału oraz eksperyment diagnostyczny na urządzeniu technicznym.

Słowa kluczowe: diagnostyka urządzeń technicznych, numeryczna obróbka sygnałów diagnostycznych.

### THE STUDY ON CHARACTERISTIC OF DIAGNOSTIC SIGNALS

#### Summary

Diagnostic signals carry encoded information about technical objects that have the signal generated. To enable the message containing the information to be read out, the signal must be sampled and adequately processed. PC computers make possible the determining signal characteristics by calculation. These may be wavelet spectrum and frequency cross - spectrum. Discrete characteristics developed by digital signal processing are different from those of equivalent characteristics obtained by analog processing with regard to creation and presentation of encoded informations. Numerical experiments on simulation model of the diagnostic signal and diagnostic experiment on technical object are proposed in this paper to investigate this difference.

Key words: diagnostic of technical devices, numerical treatment of diagnostic signals

### 1. Wprowadzenie

Każde urządzenie techniczne jest wytwarzane w celu realizacji pewnego zadania eksploatacyjnego. Dla prawidłowego wytworzenia urządzenia i wykonania tego zadania, jest niezbędne posiadanie jakościowych i ilościowych informacji o własnościach i stanie technicznym urządzenia oraz zachodzących w nim procesach i związkach. Pozyskiwanie tych informacji jest zadaniem diagnostyki technicznej [4].

Nadane podczas wytwarzania urządzenia kształty, wymiary oraz wzajemne położenia elementów, a także luzy, które są niezbędne dla prawidłowego funkcjonowania par kinematycznych, są w zakresie tolerancji, wielkościami losowymi. Podobny charakter ma zużycie urządzenia oraz warunki eksploatacji. Te losowe odstępstwa od ideału, wprowadzone podczas wytwarzania oraz nabyte w czasie eksploatacji, zaburzają stany równowagi dynamicznej (mechanicznej, termicznej itp.) w funkcjonującym urządzeniu i powodują dodatkowe procesy i związki, towarzyszące procesowi użytkowemu. Są one na ogół „dawkami”

sygnałów diagnostycznych, które w praktyce mają postać realizacji czasowych, wybranych wielkości fizycznych.

Dla celów diagnostycznych, często wykorzystuje się sygnały wibroakustyczne. Są to realizacje czasowe zjawisk falowych, reprezentujących drgania mechaniczne i akustyczne. Zmienność w czasie tych sygnałów, z częstotliwością od kilku do kilkudziesięciu tysięcy Hz, zapewnia dużą zawartość informacji, a ich charakter fizyczny ułatwia badania urządzenia bez zakłócania procesu eksploatacyjnego [3, 4].

Czynniki losowe oraz zależności przyczynowo skutkowe między wymuszeniami na wejściu urządzenia, zjawiskami zachodzącymi w jego wnętrzu i objawami funkcjonowania na wyjściu, powodują, że sygnały diagnostyczne mają charakter stochastyczny i niosą poszukiwane informacje o własnościach i stanie technicznym urządzenia, a także o procesie użytkowym. Informacje o urządzeniu, zawarte w sygnale diagnostycznym, mają postać zakodowanego komunikatu. Zdekodowanie tego komunikatu, wymaga pobrania i obróbki sygnału.

Pobranie polega na obserwacji lub rejestracji realizacji czasowej, reprezentującej sygnał. Natomiast obróbka sygnału stochastycznego, polega na wyznaczeniu estymaty jego charakterystyki statystycznej. Rodzaj charakterystyki jest wybierany przez badacza w zależności od poszukiwanych informacji diagnostycznych.

Ze względu na okresowy sposób funkcjonowania źródeł informacji w urządzeniu technicznym te charakterystyki są przeważnie funkcjami częstotliwości.

Mimo, że wybór odpowiedniej charakterystyki i wyznaczenie jej estymaty nie jest łatwym zadaniem, rezultatem obróbki sygnału nie jest zdekodowana postać komunikatu; estymata ułatwia jedynie odczytanie informacji zawartych w komunikacie. Dla prawidłowego wyboru charakterystyki i odczytania tych informacji, oprócz doświadczenia i intuicji, badacz powinien dysponować wiedzą: 1) o sposobie powstawiania i prezentacji informacji, w wybranej charakterystyce i wyznaczonej estymacie, 2) o zakłóceniach tych informacji wprowadzonych podczas obróbki sygnału. Mimo, że są to wymagania trudne do spełnienia, obróbka sygnału polegająca na wyznaczeniu estymat jego charakterystyk statystycznych, jest jedynym, stosowanym obecnie, środkiem ułatwiającym odczytanie informacji diagnostycznych, zawartych w zakodowanych komunikatach.

Do niedawna obróbkę sygnałów diagnostycznych (a w szczególności wibroakustycznych), wykonywano wyłącznie metodami, które można nazwać analogowymi. Obróbka polegała na wyznaczeniu estymat z ciągłej postaci sygnału, za pomocą odpowiednich przyrządów pomiarowych. W zaawansowanej diagnostyce urządzeń technicznych, ta metoda okazuje się nieefektywna i mało uniwersalna.

Komputeryzacja prac badawczych spowodowała, że metody analogowe są coraz częściej zastępowane przez metody numerycznej obróbki sygnałów. Pojawienie się komputerów o dużej mocy obliczeniowej i szybkości działania oraz nowoczesnych algorytmów, pozwalają obliczać estymaty, za pomocą komputera.

Istotną cechą komputera jest możliwość wykonywania działań tylko na wartościach dyskretnych, natomiast realizacje czasowe, reprezentujące sygnały diagnostyczne, są z natury ciągłe. Konieczne jest zatem przetworzenie analogowo-cyfrowe, w rezultacie którego otrzymuje się szereg wartości, jakie sygnał przybiera w chwilach próbkowania, dyskretnie rozłożonych na osi czasu. Estymaty obliczone na podstawie tak utworzonej, dyskretniej bazy danych, są również dyskretnie [3, 4].

W bazie danych, uzyskanej w rezultacie przetwarzania A/C, pozostają zachowane jedynie informacje zawarte w sygnale diagnostycznym, w chwilach próbkowania. Pozostałe informacje zostają bezpowrotnie utracone. Nowoczesne

komputery i przetworniki A/C, pozwalają na „gęste” próbkowanie sygnału, przez co takie straty informacji nie są bardzo dotkliwe. Natomiast dyskretyzacja oraz skończona liczba próbek obrabianego sygnału powoduje, że dyskretne estymaty charakterystyk statystycznych, różnią się sposobem powstawiania i prezentacji informacji oraz zakłóceń wprowadzonych podczas obróbki, od estymat ciągłych, wyznaczanych metodami analogowymi. Dlatego wspomniana wyżej wiedza i doświadczenie, uzyskane przez badacza podczas stosowania analogowych metod obróbki sygnałów, są mało przydatne w przypadku obróbki numerycznej [3].

Biorąc pod uwagę znaczenie prawidłowego zdekodowania komunikatu, zawartego w obrabianym sygnale, dla prawdziwości stawianej diagnozy, wydaje się pożyteczne podjęcie kompleksowych, badań mających na celu uzyskanie wiedzy o sposobie powstawiania i prezentacji informacji diagnostycznych, w dyskretnych estymatach charakterystyk sygnałów stochastycznych. Jest to szczególnie ważne w odniesieniu do charakterystyk wzajemnych oraz nowych (mało znanych), takich jak: widma wzajemne, funkcje koherencji, widma falkowe itp.

Dla podjęcia i efektywnego wykonania takich badań konieczne jest posiadanie odpowiednich „narzędzi”. Najważniejsze z nich to:

- wiarygodne definicje oraz notacje analityczne i numeryczne badanych charakterystyk, a także ich fizyczne interpretacje,
- oprogramowanie pozwalające na obliczanie estymat tych charakterystyk,
- model symulacyjny sygnału diagnostycznego, uwzględniający możliwość programowania własności źródeł informacji, funkcjonujących w urządzeniu technicznym,
- sprawnie działający układ pomiarowy do badań urządzeń technicznych.

Badane charakterystyki powinny zostać odpowiednio zaprogramowane. Następnie, dla modeli symulacyjnych sygnałów diagnostycznych, niosących różne, z góry znane informacje, należy wyznaczyć estymaty tych charakterystyk. Pozwoli to, przynajmniej w przybliżeniu, prześledzić w jaki sposób informacje zawarte w sygnale ujawniają się w jego charakterystykach, jak są zakłócone i prezentowane. Uzyskaną w ten sposób wiedzę, można wzbogacić, wykonując badania funkcjonujących urządzeń technicznych. W tym celu należy dysponować układem pomiarowym do pobrania, przetwarzania A/C i rejestracji sygnału wibroakustycznego. Na pierwszym etapie eksperymentu, przedmiotem badań powinny być urządzenia, których własności, stan techniczny oraz procesy i związki, w nich zachodzące, zostały wcześniej rozpoznane w inny sposób.

## 2. Model symulacyjny sygnału diagnostycznego

Generacja modelu symulacyjnego sygnału diagnostycznego polega na superpozycji składowych harmonicznych widma, które nazwano pierwotnym.

$$f(k) = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} f_n(k), \quad \text{gdzie } f_n(k) \text{ - sumowane fale harmoniczne} \quad (2.1)$$

W postaci dyskretnej składowe harmoniczne sygnału dla kolejnych numerów  $n$  składowych

$$f_0(k) = \prod_{k=0}^{N-1} A_0 \cdot \sin\left(\frac{2\pi \cdot 0 \cdot k}{N} + \psi_0\right)$$

$$f_1(k) = \prod_{k=0}^{N-1} A_1 \cdot \sin\left(\frac{2\pi \cdot 1 \cdot k}{N} + \psi_1\right)$$

$$f_{\frac{N}{2}-1}(k) = \prod_{k=0}^{N-1} A_{\frac{N}{2}-1} \cdot \sin\left(\frac{2\pi \cdot (\frac{N}{2}-1) \cdot k}{N} + \psi_{\frac{N}{2}-1}\right) \quad (2.2)$$

Operator  $\prod$  reprezentuje sumę zdarzeń uporządkowanych w czasie, które są opisane wartościami dyskretnymi dla  $k = 0, 1, 2 \dots N-1$ , dla kolejnych fal sygnału  $n = 0, 1, 2 \dots \frac{N}{2}-1$ .

$$f(0) = A_0 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{N} \cdot 0 \cdot 0 + \psi_0\right) + A_1 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{N} \cdot 1 \cdot 0 + \psi_1\right) + \dots$$

$$+ A_{\frac{N}{2}-1} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{N} \cdot (\frac{N}{2}-1) \cdot 0 + \psi_{\frac{N}{2}-1}\right)$$

$$f(1) = A_0 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{N} \cdot 0 \cdot 1 + \psi_0\right) + A_1 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{N} \cdot 1 \cdot 1 + \psi_1\right) + \dots$$

$$+ A_{\frac{N}{2}-1} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{N} \cdot (\frac{N}{2}-1) \cdot 1 + \psi_{\frac{N}{2}-1}\right)$$

$$f(N-1) = A_0 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{N} \cdot 0 \cdot (N-1) + \psi_0\right) + A_1 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{N} \cdot 1 \cdot (N-1) + \psi_1\right) + \dots \quad (2.3)$$

$$+ A_{\frac{N}{2}-1} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{N} \cdot (\frac{N}{2}-1) \cdot (N-1) + \psi_{\frac{N}{2}-1}\right)$$

W postaci macierzowej powyższy układ można zapisać w sposób następujący:

$$f(k) = S \cdot A \quad (2.4)$$

gdzie:  $f(k)$  - macierz kolumnowa

$N \times 1$  sygnału pierwotnego

$S$  - macierz funkcji sinus o wymiarach

$N \times \frac{N}{2}$

$A$  - macierz kolumnowa  $\frac{N}{2} \times 1$  amplitud składowych harmonicznych sygnału

Podstawą odzwierciedlenia sygnału przez model jest taka „konstrukcja” widma pierwotnego aby było ono podobne do widma modelowanego sygnału [5]. W dziedzinie indeksów ten sygnał ma postać szeregu  $N$  próbek, ponumerowanych indeksem  $k = 0, 1, 2, \dots, N-1$ :

widma, które nazwano pierwotnym, będą następujące:

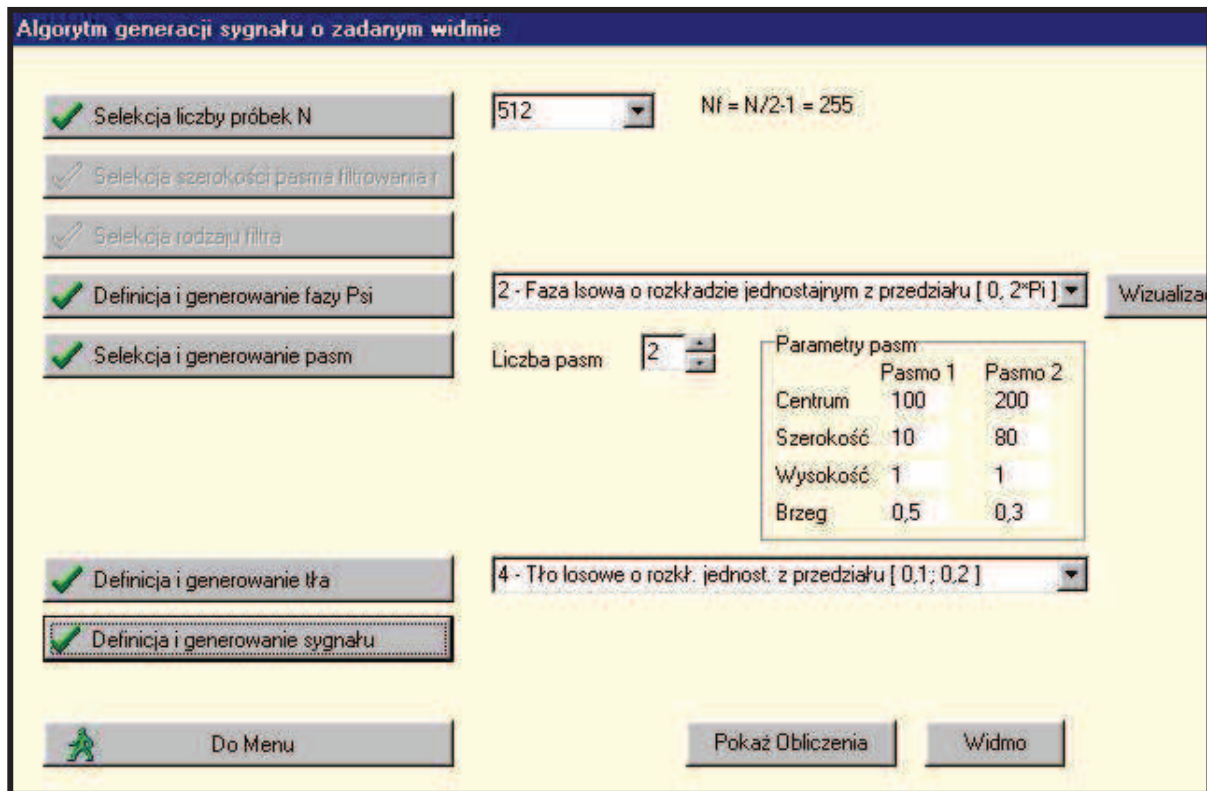
Kolejne próbki generowanego modelu sygnału będą rezultatem sumowania algebraicznego po  $n$ , poszczególnych (kolumn) składowych harmonicznych. Można je zapisać w postaci:

Zaproponowany algorytm został wykorzystany do generacji modelu sygnału, który będzie odzwierciedlał różne sygnały diagnostyczne, wytwarzane przez urządzenia techniczne.

Na rysunku 1 przedstawiono przykład menu służącego do wykonania modelu przez program generacji sygnału. Widmo tego sygnału zawiera dwa pasma reprezentujące maksima lokalne, o zdeterminowanych parametrach, pozostałą część widma stanowi tło, również zdeterminowane. Program komputerowy umożliwi „skonstruowanie” widma pierwotnego zapewniając dobór i wizualizację:

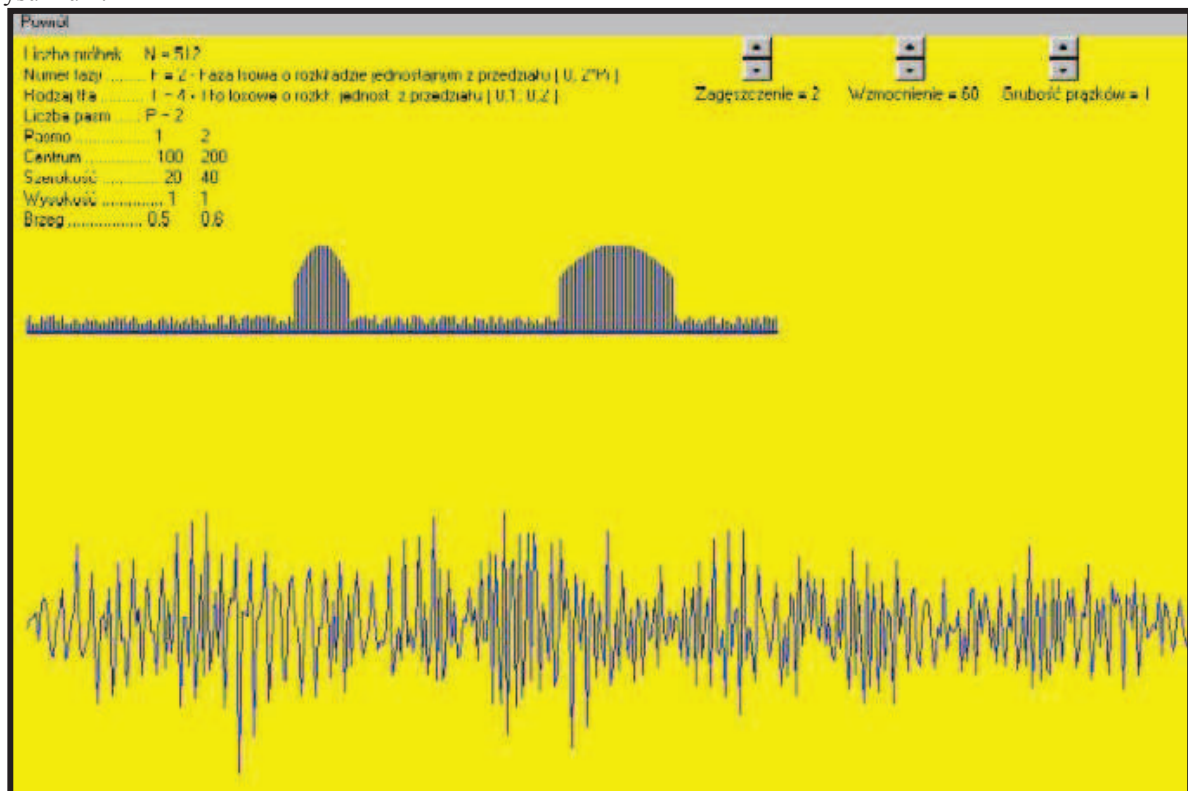
JÓZEFczyk, KUROWSKI, PANKOWSKI, *Badania charakterystyk sygnałów diagnostycznych*

- fazy,
- pasm maksimów lokalnych i ich częstotliwości środkowych,
- tła.



Rys.1 Program generujący sygnał o zadanym widmie

Przebieg modelu sygnału, który wygenerowano z tak „skonstruowanego” widma pierwotnego przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Widmo pierwotne i model sygnału



### 3. Przekształcenia falkowe

Nową charakterystyką, której przydatność dla diagnostyki urządzeń technicznych jest dotychczas słabo zbadana jest widmo falkowe. Obecnie wiadomo, że ta charakterystyka może być stosowana do rozpoznawania i obróbki obrazów oraz analizy danych. Jest również wykorzystywana do badania sygnałów mocno zaszumionych. Natomiast wykorzystanie transformacji falkowej dla celów diagnostyki wymaga zbadania czy widma falkowe niosą informacje diagnostyczne, jak te informacje są wytwarzane i jak prezentowane w estymatach.

Transformacja falkowa wyraża badane sygnały poprzez specjalne funkcje, które są tworzone z funkcji stałej, zwanej falką macierzystą. Formalnym celem analizy falkowej jest znalezienie funkcji macierzystych i sposobów ich uzyskania. Dla uzyskania dobrego widma falkowego należy jak najlepiej dopasować falkę macierzystą jako aproksymację badanego sygnału; to co pozostaje jest szumem. Badania wstępne wykazują, że ten szum może również zawierać wartościowe informacje diagnostyczne.

Dla wyznaczenia widma falkowego używa się transformat ciągłych i dyskretnych [2]. Przekształcenie ciągłe zaproponowane przez Marlet'a-Grossman'a dla jednowymiarowych sygnałów  $f(t) \in L^2(R)$  ma postać:

$$w(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (3.1)$$

gdzie  $\Psi(t)$  - falka macierzysta,  $a$  - parametr skali ( $a > 0$ ),  $b$  - parametr miejsca. Obrazem ciągłego sygnału  $f(t)$ , w takiej transformacji, jest funkcja dwu zmiennych (czasu i skali):

$$\Psi_f^\Psi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int f(t) \Psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \quad (3.2)$$

gdzie:  $s$  - skala,  $\tau$  - przesunięcie w czasie.

W rezultacie transformacji falkowej otrzymuje się widmo falkowe, które jest reprezentacją

badanego sygnału w postaci rozwinięcia liniowego w szereg o podwójnej sumie :

$$f(t) = \sum_k \sum_j a_{jk} \Psi_{jk}(t) \quad (3.3)$$

określonego zbiorem współczynników  $a_{jk}$ .

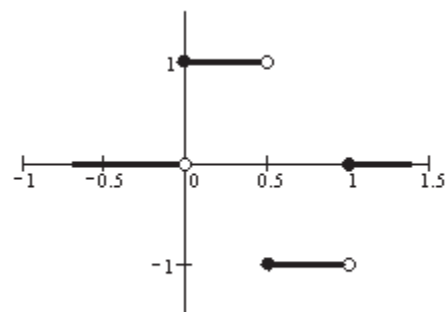
Celem większości rozwinięć funkcji, reprezentujących badane sygnały, jest uzyskanie współczynników  $a_{jk}$ , umożliwiających wyodrębnienie informacji, która jest bardziej użyteczna niż informacja widoczna bezpośrednio z oryginalnej realizacji czasowej sygnału. Niezerowe elementy rozwinięcia szeregu (3.3) reprezentują składowe falkowe badanego sygnału. Elementy te są określone przez współczynniki, których wartość jest różna od zera.

Z przytoczonych notacji wynika, że transformacja falkowa jest charakterystyką opisującą wzajemną zależność dwóch zmiennych. Jej notacja jest podobna do funkcji korelacji wzajemnej. Można zatem oczekiwać, że transformata falkowa będzie prezentować podobieństwo badanego sygnału i wybranej falki macierzystej, podobnie jak funkcje korelacji wzajemnej. Jednak transformacja falkowa jest „zlokalizowana” zarówno w dziedzinie czasu jak i w częstotliwości. Pozwala to badać sygnały zawierające nieciągłości oraz ostre piki.

Mimo niewielkiej złożoności obliczeniowej wzory analityczne na ciągłe transformaty falkowe są praktycznie niemożliwe do wykonania, nawet dla stosunkowo prostych sygnałów. Widma falkowe są on ogół liczone numerycznie na pewnej siatce czasu i skali. Dyskretyzując skalę  $a$  i przesunięcie  $b$  otrzymujemy transformację dyskretną. Duża wartość skali odpowiada małym częstościom, a więc zjawiskom powtarzającym się co długi okres, mała skala zaś, wysokim częstościom, lub procesom szybko powtarzalnym.

Dzięki falkom można aproksymować funkcje, reprezentujące składowe badanego sygnału, na dowolnie małych przedziałach czasu, co w rezultacie daje nam przybliżenie danej składowej. Najprostszym przykładem falkowego rozwinięcia sygnału jest podstawowa falka Haara, pokazana na rysunku 3:

$$\Psi(t) = \begin{cases} 1 & \text{dla } 0 \leq t < \frac{1}{2} \\ -1 & \text{dla } \frac{1}{2} \leq t < 1 \\ 0 & \text{dla innych} \end{cases}$$



Rys.3. Falka Haara

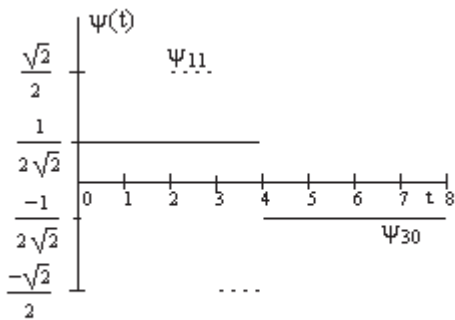
Podstawowa falka Haara generuje zbiór falek o elementach (tworzących bazę ortonormalną, zaś w sensie zastosowań falkowych składowych sygnału)

$$\Psi_{mn}(t) = 2^{-m/2} \Psi(2^{-m}t - n) \quad (3.4)$$

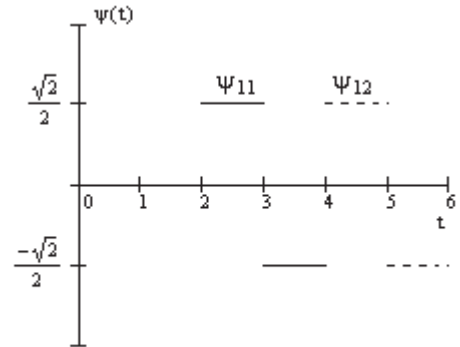
dla  $n = \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots$

Ponieważ nośnik (przedział czasowy, w którym sygnały elementarne są niezerowe) funkcji  $\Psi_{mn}(t)$  ma długość  $2^m$ , liczbę całkowitą  $m$  nazwano współczynnikiem skali, zaś  $n$  - współczynnikiem przesunięcia. Zauważono, że przesunięcie falki podstawowej  $\Psi$  zależy od współczynnika skali

i wynosi  $2^m \cdot n$ .  $2^m$  jest krokiem z jakim są przesuwane w czasie falki  $\Psi_{mn}(t)$ . Natomiast kolejne potęgi dwójki wyznaczają próbkowanie na osi skali. Zatem falki z tym samym współczynnikiem skali nie mają wspólnego nośnika, czyli ich przesunięcie jest całkowitą wielokrotnością długości nośnika (rys. 4a). Jeśli dla falek o różnych skalach nośniki przecinają się to falka o większej długości nośnika jest stała w przedziale równym nośnikowi falki o krótszym nośniku (rys.4b).



Rys.4a. Ta sama skala różne przesunięcia (nośnik tj. długość przedziału=2)



Rys.4b. Różna skala i przesunięcie

Inne falki stosowane obecnie dla uzyskania widm falkowych to:

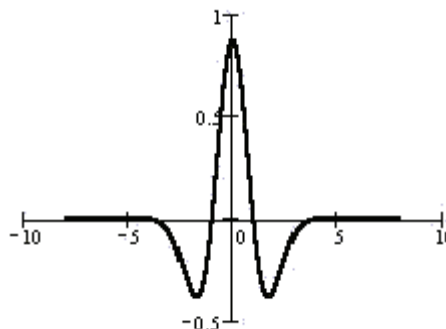
(1) falka Marlet'a określona w dziedzinie zmiennej zespolonej:

$$\Psi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} [\cos(2\pi \nu_0 t) + j \sin(2\pi \nu_0 t)] \quad (3.5)$$

gdzie:  $\nu_0$  - stała z warunkiem dopuszczalności  $\nu_0 > 0,8$

(2) falka „Mexican Hat” tj. kapelusz meksykański, przedstawiona na rysunku 5.

$$\Psi(t) = \frac{2}{\sqrt{3}} \pi^{\frac{1}{4}} (1-t^2) e^{-\frac{t^2}{2}}$$



Rys. 5 Falka "Mexican Hat"

(3) falki z rodziny Daubechies [2].

Ogólnie biorąc, kształt falki może być dobrany z dużą dowolnością. Można zatem podjąć próbę doboru takich falek, które będą odzwierciedlać przebieg pewnych procesów zachodzących podczas funkcjonowania urządzenia

technicznego, np. procesu przyporu zębów funkcjonujących przekładni zębatych, ruchu czopu wałka w panewce łożyska ślizgowego itp.

Możliwość wydzielenia takich przebiegów, z pobranego sygnału diagnostycznego, może być użyteczna dla postawienia diagnozy

o stanie par kinematycznych, w których te procesy są realizowane.

#### 4. Charakterystyki wzajemne

Mało znane pod względem przydatności dla diagnostyki urządzeń technicznych są charakterystyki wzajemne sygnałów diagnostycznych.

Przyjmuje się, że energia chwilowa sygnału  $f_1(t)$  i sygnału  $f_2(t)$  dla chwil  $t = t_k$  jest równa  $f_1^2(t_k)$  i  $f_2^2(t_k)$ . Energię wzajemną tych sygnałów dla przedziału  $[-T/2, T/2]$  można wyrazić całką

$$E_{1,2}(t) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f_1(t) \cdot f_2(t) dt \quad (4.1)$$

Podając notację charakterystyk wzajemnych tych sygnałów, można zauważyć, że funkcja korelacji wzajemnej w postaci:

$$R_{12}(\tau) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f_1(t) \cdot f_2(t + \tau) dt \quad (4.2)$$

jest pewną formą prezentacji energii wzajemnej tych sygnałów, w funkcji przesunięcia na osi czasu jednego sygnału względem drugiego.

W dziedzinie częstotliwości, odpowiednikiem funkcji korelacji wzajemnej jest widmo wzajemne:

$$F_{1,2}(f) = F_1^*(f) \cdot F_2(f) \quad (4.3)$$

gdzie:

$$F_1^*(f) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f_1(t) e^{i2\pi ft} dt$$

$$F_2(f) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f_2(t) e^{-i2\pi ft} dt$$

są odpowiednio transformatami Fouriera, sprzężoną, zwykłą sygnałów  $f_1(t)$  i  $f_2(t)$ . Funkcje  $F_{1,2}(f)$  oraz  $F_1^*(f)$  i  $F_2(f)$  są unormowane do czasu i mają wymiar mocy.

Bywają nazywane gęstościami widmowymi mocy. Te wielkości są podstawą do wyznaczenia innych wielkości pochodnych takich jak np. funkcja koherencji:

$$\gamma_{12}^2(f) = \frac{|G_{12}(f)|^2}{G_{11}(f)G_{22}(f)} \quad (4.5)$$

Twierdzenie Wienera - Chinchina pozwala na łatwe przejście od funkcji korelacji wzajemnej do wzajemnej gęstości widmowej i odwrotnie.

Inną mniej znaną charakterystyką jest łączne widmo dwóch sygnałów  $f_1(t)$  i  $f_2(t)$ . Jest to transformacja Fouriera sygnału

$$f_3(t) = f_1(t) + i \cdot f_2(t)$$

Charakterystyki wzajemne reprezentują zależności energii dwóch sygnałów. Ponieważ te sygnały niosą informację o intensywności źródeł,

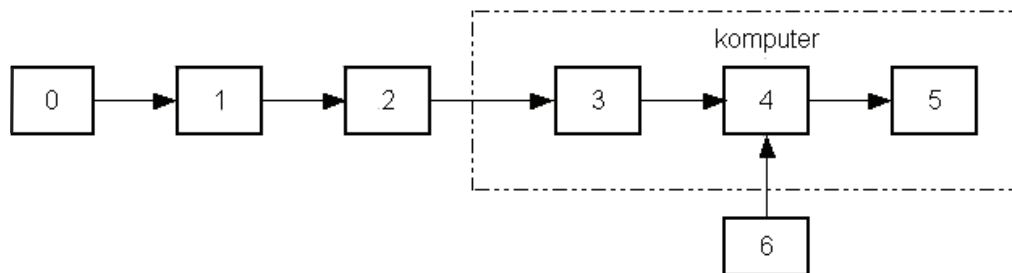
które je wygenerowały można oczekiwać, że w charakterystykach są zawarte informacje wzajemnej zależności tych intensywności. Mogą zatem zawierać informacje o źródłach i ich sprzężeniach. Są to informacje ważne dla postawienia diagnozy o stanie badanego urządzenia.

#### 5. Stanowisko pomiarowe

Obróbka sygnału, polegająca na wyznaczeniu estymaty wybranej charakterystyki statystycznej, jest obecnie coraz częściej realizowana za pomocą technik numerycznych, które narzucają określone wymogi co do postaci obrabianych danych.

Badane sygnały są na ogół ciągłe, natomiast komputer może działać tylko na wartościach dyskretnych.

Dlatego konieczny jest układ pomiarowy, który pobierze i przetworzy sygnał do postaci szeregu wartości [6]. Ten szereg będzie bazą danych dla obliczenia na komputerze wybranej estymaty (np.: wartości średniej, wariancji, funkcji korelacji lub widma częstotliwościowego, widm wzajemnych). Schemat blokowy układu pomiarowego, przedstawiono na rysunku 6,



Rys.6. Schemat stanowiska pomiarowego

gdzie:

1. **System techniczny** emitujący sygnał.
2. **Czujnik pomiarowy** z przedwzmacniaczem dokonuje transformacji wielkości fizycznej, wybranej jako sygnał, do postaci napięcia, które go odzwierciedla.
3. **Przedwzmacniacz** dopasowuje impedancję wyjścia czujnika do impedancji wejścia przetwornika analogowo – cyfrowego.
4. **Wejście analogowe** zapewnia zasilanie przedwzmacniacza i umożliwia przepływ odpowiednio wzmacnionego sygnału elektrycznego, od czujnika do przetwornika analogowo – cyfrowego.
5. **Przetwornik A/C** jest elementem, który łączy analogową część układu pomiarowego (tzn. czujnik, przedwzmacniacz i wejście analogowe) z częścią numeryczną. Jego działanie polega na zmierzeniu sygnału ciągłego w kolejnych chwilach czasu i przesłaniu szeregu danych na magistralę komputera,
6. **Procesor** steruje pobraniem i przetwarzaniem sygnału.
7. **Rejestrator** to twardy dysk komputera, który zapewnia utrwalenie uzyskanych rezultatów oraz pełnej dokumentacji pomiarów.

#### 8. Klawiatura komputera.

Aby prawidłowo realizować pobranie i przetwarzanie sygnału, w komputerze zainstalowano katalog procedur sterujących funkcjonowaniem układu pomiarowego. Te procedury są uruchamiane przez badacza z klawiatury komputera, a dają możliwość nastawienia wzmacnienia, częstotliwości próbkowania sygnału i liczby próbek, pozwalają także przeprowadzić wizualizację pobranych i przetworzonych przebiegów realizacji czasowych.

Taki układ pomiarowy może posłużyć do przeprowadzenia badań rozpoznawczych powstawania o prezentacji informacji diagnostycznych w charakterystykach sygnałów diagnostycznych, pobranych z funkcjonujących urządzeń technicznych. Rys 7 i 8 przedstawia stanowisko pomiarowe w trakcie wykonywania pomiarów przebiegu przyspieszenia drgań korpusu silnika samochodowego. Na rysunku 9 przedstawiono dla przykładu wizualizację pobranej i przetworzonej realizacji czasowej sygnału diagnostycznego. Załączony raport zawiera wartości nastawów przyjętych dla przetwarzania A/C pobranej realizacji.

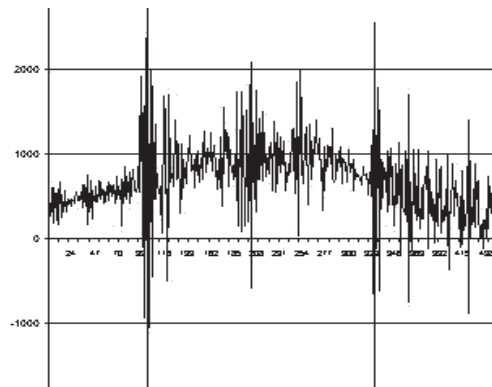


Rys. 7. Stanowisko pomiarowe



Rys. 8. Zamontowany czujnik

Liczba próbek :	1024
Częstotliwość prób. :	0.001 [kHz]
Czas pomiaru :	102.4 [ms]
Wyniki pomiarów [mV] :	
Wykres 1	
1	561,5
2	238,8
3	600,6
4	312,5
5	595,7
6	180,7
7	527,3
8	527,3
9	214,8
10	576,2
11	161,1
12	668,9
13	244,1
14	517,6
15	312,5
16	571,2



Rys. 9. Pobrany i przetworzony sygnał wibroakustyczny



## 6. Podsumowanie

Przeprowadzona analiza definicji notacji oraz własności transformacji falkowych i charakterystyk wzajemnych wykazuje, że charakterystyki uzyskane w rezultacie tych transformacji mogą zawierać wartościowe informacje diagnostyczne. Dotychczasowe badania pozwalają stwierdzić, że te charakterystyki, wyznaczone na drodze numerycznej obróbki sygnałów, mają charakter dyskretny i różnią się od charakterystyk wyznaczonych metodą bezpośredniego pomiaru, sposobem wytwarzania i prezentacji informacji diagnostycznych. Zastosowanie tych charakterystyk do celów diagnostyki urządzeń technicznych wymaga niejednokrotnego przeprowadzenia kompleksowych badań rozpoznawczych na modelach sygnałów zawierających z góry znane informacje, uzyskanych w rezultacie symulacji oraz sygnałach diagnostycznych pobranych z funkcjonujących urządzeń o znanych własnościach.

## Literatura

- [1] Bendat J.S., Piersol A.G.: *Engineering Application of Correlation and Spectral Analysis*. John Willey&Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore 1980,
- [2] Białasiewicz J.: *Falki i aproksymacje*. WNT Warszawa 2000
- [3] Kurowski W.: *Dyskretnie widmo Fouriera w diagnostyce wibroakustycznej*. Wyd. Politechniki Białostockiej, Białystok 1997,
- [4] Kurowski W.: *Teoria informacji dla inżynierów*. Wyd. Wyższej Szkoły Agrobiznesu w Łomży, Łomża 2000,
- [5] Kurowski W.: *Model symulacyjny sygnału wibroakustycznego*. Proc. Of the VIII prof. Cz. Kanofajski International Symposium, vol I21-22 sept. 2000, Płock, Poland, s.323-334,
- [6] Kurowski W.: XXIX Ogólnopolskie Sympozjum Diagnostyka Maszyn Węgierska Górka. Wyd. Politechnika Śląska, s. 235-240
- [7] Papoulis A.: *Prawdopodobieństwo, zmienne losowe i procesy stochastyczne*. WNT Warszawa 1972.



**Izabela Ewa Józefczyk** urodziła się w 1969 roku w Płocku. W 1993 ukończyła Uniwersytet Łódzki Sekcja Metod Numerycznych i Programowania. Pracę magisterską pisała w zakresie Metodyki Nauczania Matematyki. Od 1997 asystent Politechniki Warszawskiej w Szkole Nauk Technicznych i Społecznych w Płocku. Interesuje się zagadnieniami bankowości i finansów. Posiada uprawnienia Dyplomowanego Pracownika Banku.



**Waldemar Kurowski** urodził się w 1937 roku w Warszawie. W 1961 roku ukończył Wydział MEiL na Politechnice Warszawskiej, a w 1968 roku uzyskał stopień doktora nauk technicznych, w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN. Jest profesorem nzw. Politechniki Warszawskiej w Szkole Nauk Technicznych i Społecznych w Płocku, doktorem hab. nauk technicznych w dyscyplinie: mechanika, specjalność: wibroakustyka. W działalności naukowej, zajmuje się metodologią badań, problemami diagnostyki maszyn i urządzeń technicznych, wibroakustyką oraz numeryczną obróbką sygnałów. Jest autorem lub współautorem ponad 100 publikacji, referatów i opracowań zastosowanych w praktyce oraz 5 publikacji zwartych. Jest rzeczoznawcą zespołu SIMP oraz członkiem Polskiego Towarzystwa Diagnostyki Technicznej.



**Andrzej Pankowski** urodził się w 1970 roku w Płocku. W 1995 ukończył Uniwersytet Łódzki Sekcja Zastosowań Matematyki. Od 1995 asystent Politechniki Warszawskiej w Szkole Nauk Technicznych i Społecznych w Płocku. Interesuje się zagadnieniami algorytmiki, programowania i metod numerycznych.