

Izabela JÓZEFczyk

Politechnika Warszawska, Płock

TRANSFORMATA FALKOWA W DIAGNOSTYCE URZĄDZEŃ TECHNICZNYCH

Słowa kluczowe

Sygnał, dyskretna transformacja falkowa, falka, falka macierzysta.

Streszczenie

Artykuł jest poszukiwaniem odpowiedzi na pytanie: jakie warunki musi spełniać falka, aby sygnał poddany transformacji falkowej nadawał się do zdekodowania informacji diagnostycznej. Obróbce poddano dwa sygnały symulacyjne (stacjonarny i niestacjonarny) oraz sygnał pobrany z urządzenia mechanicznego. W oparciu o uzyskane rezultaty potwierdzona została hipoteza mówiąca, iż bardzo istotny jest dobór falki. Podkreślono także przydatność transformacji falkowej jako narzędzia do obróbki wstępnej, dla celów diagnostyki urządzeń technicznych.

Wprowadzenie

Sygnał diagnostyczny jest jednym ze źródeł informacji o stanie urządzenia technicznego. Zawiera on jednak także wiele informacji zbędnych często zwanych szumami. Przyjęto, że sygnał jest sumą $\vec{D} + \vec{N}$, składowej zdeterminowanej \vec{D} oraz losowej \vec{N} .

Praktyka podpowiada, że składowa zdeterminowana – \vec{D} niesie informacje o niedokładnościach wykonania i montażu oraz zużyciu powierzchniowym i objętościowym urządzenia. Pomimo że te wielkości są dziełem przypadku to ich istnienie i informacje o nich są zdeterminowane. Ponieważ postępowanie dia-

gnostyczne ma przeważnie na celu pozyskanie tych informacji, to separacja, \vec{D} od \vec{N} może ułatwić obróbkę sygnału i ich zdekodowanie.

Składowa losowa – \vec{N} niesie informacje o szumach i zakłóceniach występujących podczas funkcjonowania urządzenia. Mimo że wartościowe informacje diagnostyczne mogą być zawarte również w tej składowej, to jest ona na ogół pomijana i separacja ma charakter filtrowania \vec{N} od \vec{D} . Do takiej realizacji separacji można wykorzystać przekształcenie falkowe [1–5].

1. Obróbka sygnałów diagnostycznych

Informacja zakodowana w sygnale diagnostycznym ma przeważnie charakter widmowy i dotyczy energii generowanej przez źródła zaburzeń, które są rezultatem zużycia powierzchniowego i objętościowego oraz niedokładności wykonania i montażu badanego urządzenia [5–8].

Obróbka sygnału, mająca na celu zdekodowanie tych informacji, bywa wykonywana na dwóch etapach. Pierwszy to obróbka wstępna (*preprocessing*) – za pomocą przekształcenia falkowego, mająca na celu uwolnienie bogatej w informacje zdeterminowanej składowej sygnału, od składowej losowej. Następnym etapem jest zazwyczaj „przeniesienie” transformaty falkowej, a ściślej biorąc jej aproksymacji, do dziedziny częstotliwości. W przypadku sygnałów stacjonarnych wykorzystuje się w tym celu transformację Fouriera, a dla obróbki sygnałów niestacjonarnych – transformację czasowo-częstotliwościową Wigner-Ville’a.

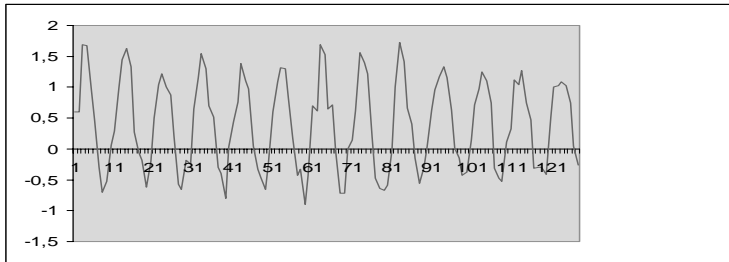
Zgromadzona dotychczas wiedza wskazuje, że każda procedura przekształcania sygnału diagnostycznego, niezależnie od woli badacza, wprowadza pewne – z góry nieznanne zakłócenia, zniekształcające zawarte w nim informacje, lub wytwarza nowe, których w sygnale nie ma. Dlatego rozpoznanie sposobu wytwarzania, zakłócania i prezentacji informacji uzyskanych w rezultacie wykonywanej obróbki, ma fundamentalne znaczenie dla oceny ich wiarygodności [2–4].

Aby ocenić wiarygodność informacji pozyskiwanych w rezultacie obróbki sygnału diagnostycznego, przy wykorzystaniu przekształcenia falkowego, zbadał charakterystyki widmowe dwóch sygnałów diagnostycznych. Badania przeprowadzono na zasymulowanych na komputerze modelach sygnałów – stacjonarnego i niestacjonarnego; w każdym z nich zakodowano z góry znane informacje widmowe. Dokonano również analizy przebiegów charakterystyk falkowych, wyznaczonych dla sygnału diagnostycznego pobranego z funkcjonującego urządzenia mechanicznego.

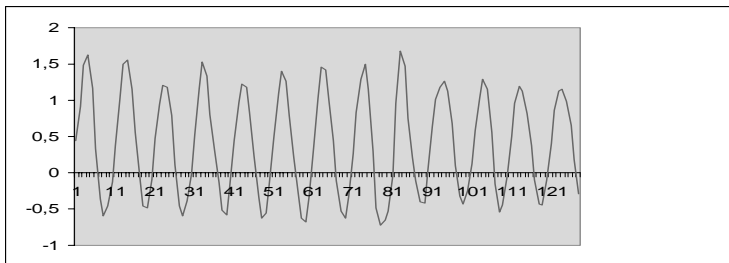
2. Sygnał stacjonarny

Model sygnału stacjonarnego składa się ze zdeterminowanej składowej harmonicznej o stałej częstotliwości i szumu losowego. Obie składowe zostały

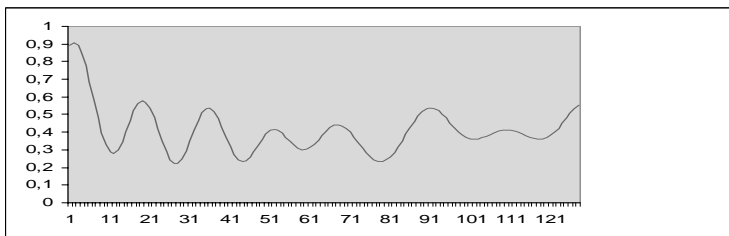
wygenerowane na komputerze i poddane superpozycji. Przebieg sygnału przedstawiono na rys. 1. Wykorzystując, najczęściej stosowaną w diagnostyce urządzeń mechanicznych, dyskretną falkę Meyera (dmey), wykonano falkowe przekształcenie tego sygnału. Na rys. 2 i 3 przedstawiono przebiegi aproksymacji, na pierwszym i trzecim poziomie dekompozycji.



Rys. 1. Badany sygnał stacjonarny

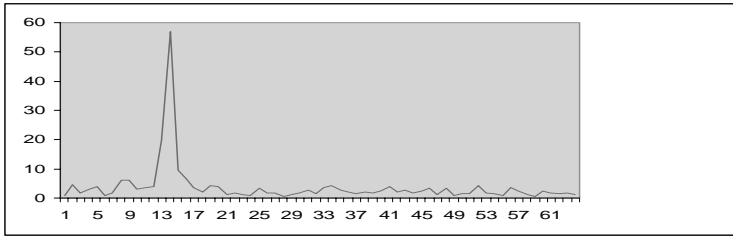


Rys. 2. Aproksymacja sygnału stacjonarnego, dmey1

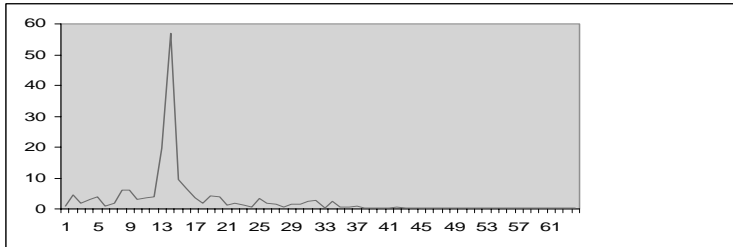


Rys. 3. Aproksymacja sygnału stacjonarnego, dmey3

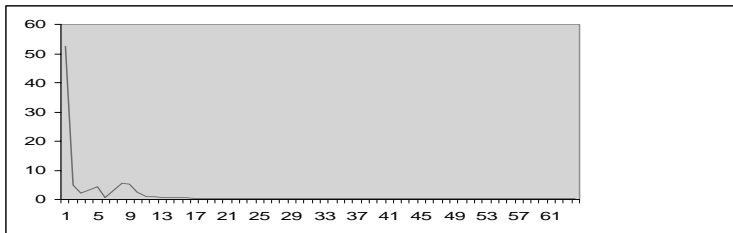
Założono, że przeprowadzona dekompozycja jest obróbką wstępną, mającą na celu oczyszczenie sygnału z szumu losowego. Dalszą obróbkę wykonano za pomocą dyskretnej transformacji Fouriera. Na rys. 4–6 przedstawiono uzyskane w ten sposób widma częstotliwościowe modułu sygnału i jego aproksymacji.



Rys. 4. Widmo częstotliwościowe sygnału stacjonarnego

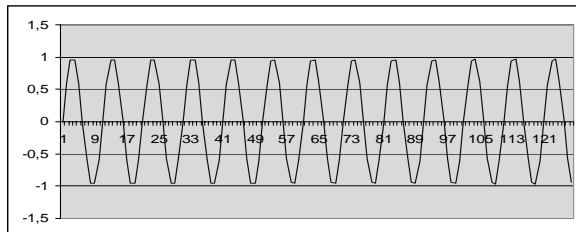


Rys. 5. Widmo częstotliwościowe aproksymacji sygnału stacjonarnego, dmeyl



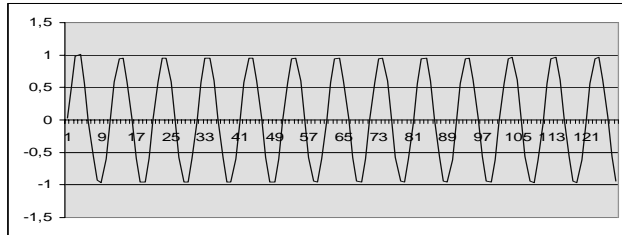
Rys. 6. Widmo częstotliwościowe aproksymacji sygnału stacjonarnego, dme y3

Zgodnie z przyjętym założeniem, składowa zdeterminowana sygnału, której przebieg został przedstawiony na rys. 7, niesie oczekiwaną informację diagnostyczną i powinna być przedmiotem szczególnego zainteresowania badacza. Dla tego tę składową poddano takim samym przekształceniom jak badany sygnał.

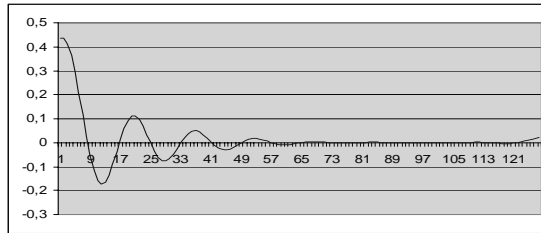


Rys. 7. Składowa zdeterminowana sygnału stacjonarnego

Obserwacja jej aproksymacji pozwoli w przybliżeniu ustalić, jak przekształcenia zastosowane do obróbki sygnału zakłócają zawartą w niej informację. Aproksymacje, uzyskane z przekształcenia dyskretną falką Meyera, na pierwszym i trzecim poziomie dekompozycji, przedstawiono na rys. 8 i 9.



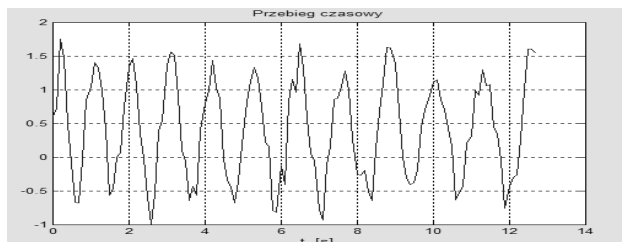
Rys. 8. Aproksymacja składowej zdeterminowanej, dme y1



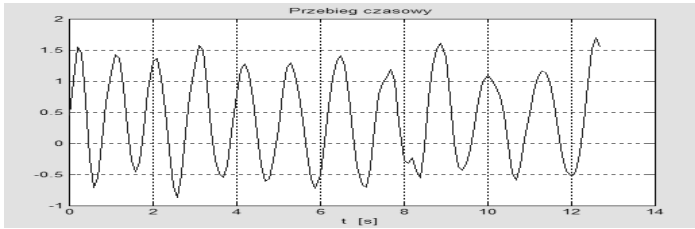
Rys. 9. Aproksymacja składowej zdeterminowanej, dme y3

3. Sygnał niestacjonarny

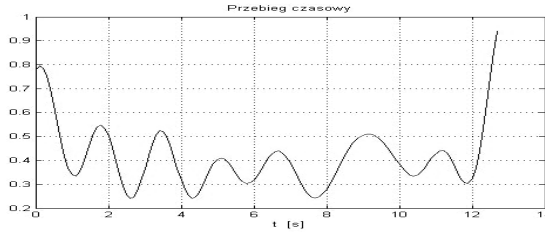
Model sygnału niestacjonarnego został utworzony w ten sam sposób co model sygnału stacjonarnego. Sygnał utworzony z superpozycji składowej zbliżonej do harmonicznej, ale o malejącej częstotliwości i składowej losowej, jest niestacjonarny, ponieważ przesunięcie punktu zerowego na osi czasu zmienia jego charakterystykę częstotliwościową. Na rys. 10–12 pokazano przebiegi sygnału i jego aproksymacji, uzyskane po jego przekształceniu na falkę Meyera (dme y), na pierwszym i trzecim poziomie dekompozycji.



Rys. 10. Badany sygnał niestacjonarny

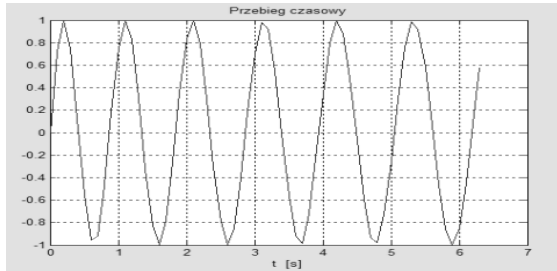


Rys 11. Aproksymacja sygnału niestacjonarnego, dmey1

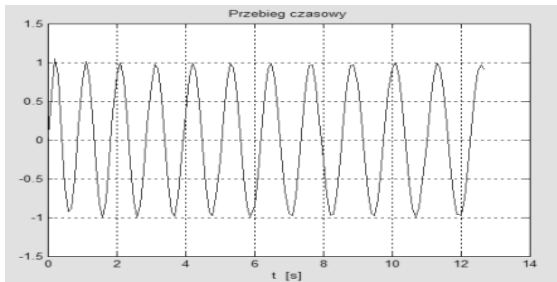


Rys 12. Aproksymacja sygnału niestacjonarnego, dmey3

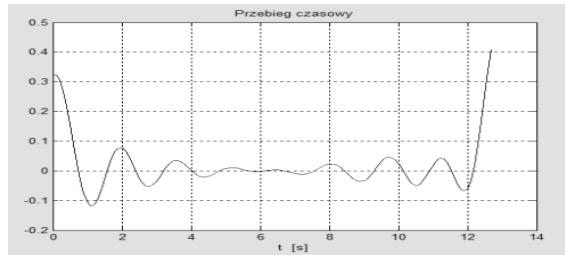
Przebieg składowej zdeterminowanej został przedstawiony na rys. 13. Aproksymacje, uzyskane z przekształcenia dyskretną falką Meyera, przedstawiono na rys. 14 i 15.



Rys 13. Składowa zdeterminowana sygnału



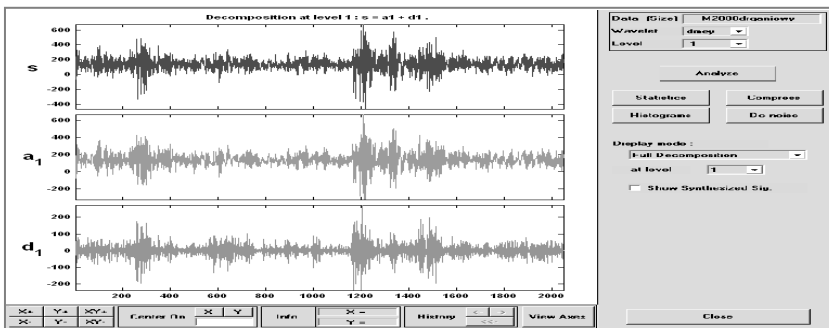
Rys 14. Aproksymacja składowej zdeterminowanej, dmey1



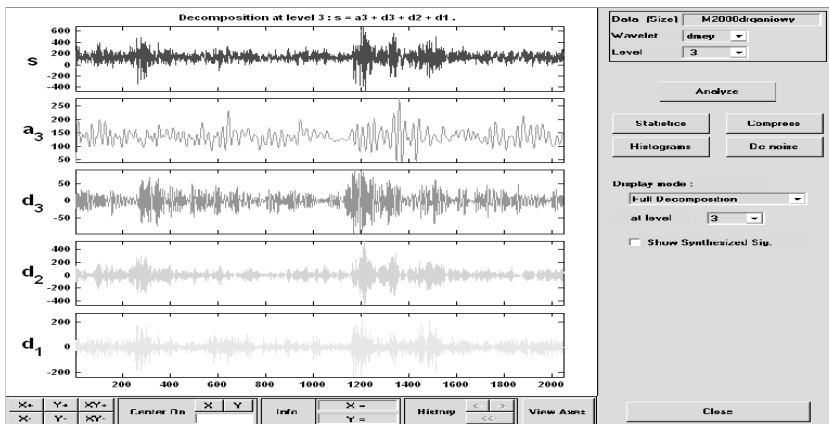
Rys. 15. Aproksymacja składowej zdeterminowanej, dme3

4. Sygnał wibroakustyczny

Na rys. 16–18 przedstawiono przebiegi aproksymacji i detali uzyskanych w rezultacie przekształcenia falkowego, sygnału diagnostycznego, emitowanego przez silnik motocykla turystycznego. Jako sygnał wybrano realizację czasową

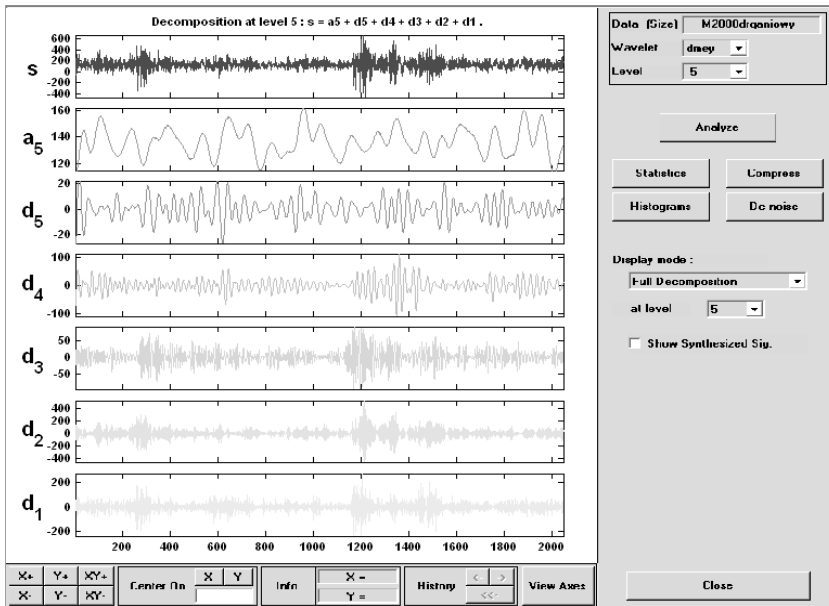


Rys. 16. Transformacja sygnału diagnostycznego falką dme3 1



Rys. 17. Transformacja sygnału diagnostycznego falką dme3 3

przyspieszenia drgań, korpusu silnika, pobraną przez akcelerometr piezoelektryczny. Przebieg sygnału napięciowego, odzwierciedlający tę realizację, został przetworzony do postaci numerycznej i stanowił bazę danych dla procedury DWT. Rysunki przedstawiają dekompozycję sygnału na pierwszym, trzecim i piątym poziomie, przy wykorzystaniu dyskretnej falki Meyera. Na każdym poziomie dekompozycji badany sygnał jest sumą aproksymacji i detalu z tego poziomu oraz detali ze wszystkich poprzednich poziomów.



Rys. 18. Transformacja sygnału diagnostycznego falką dmey 5

Aby aproksymacje i detale, uzyskane w rezultacie przekształcenia falkowego na kolejnych poziomach dekompozycji, można było wykorzystać dla celów diagnostyki urządzeń mechanicznych, muszą one dobrze odzwierciedlać składową zdeteminowaną i losową pobranego sygnału. Ten warunek dotyczy zarówno sygnału stacjonarnego, jak i niestacjonarnego.

Rezultaty uzyskane z badań modeli sygnałów diagnostycznych, niosących znane, zaprogramowane podczas symulacji informacje widmowe, a także przebiegi charakterystyk falkowych, wibroakustycznego sygnału diagnostycznego, pobranego z funkcjonującego urządzenia mechanicznego wykazują, że:

- procedura DWT dzieli zarówno sygnał stacjonarny, jak i niestacjonarny na dwie składowe, według kryterium podobieństwa do wybranej falki, z uwzględnieniem skalowania i przesunięcia w czasie,
- wraz ze wzrostem poziomu dekompozycji przebieg aproksymacji staje się coraz bardziej podobny do przebiegu wybranej falki, niezależnie od tego czy

odzwierciedla on poszukiwaną składową zdeterminowaną, czy nie; reszta sygnału jest przenoszona do detali.

Konsekwencją tak rozumianego filtrowania falkowego jest niekontrolowana modyfikacja badanego sygnału. Postępujące wraz ze wzrostem poziomu dekompozycji upodobnienie przebiegu aproksymacji do przebiegu falki wzorcowej, powoduje zakłócenie i utratę informacji widmowych, które mogą być w niej zakodowane i wytworzenie informacji, wynikających z przebiegu falki, których nie ma w sygnale.

Na pierwszym i niekiedy na drugim poziomie kształt, skalowanie i przesuwanie w czasie dobrze dobranej falki sprzyja odfiltrowaniu do detali składowych harmonicznych sygnału o wysokich częstotliwościach. W związku z tym, iż informacje widmowe są zazwyczaj „ulożone” w pasmach o niskiej częstotliwości, zniekształcenia aproksymacji w stosunku do oczekiwanej składowej zdeterminowanej są niewielkie. Aproksymacja może być uznana za dobre odzwierciedlenie tej składowej, a część sygnału przeniesiona do detali może być traktowana jak szum. Przekształcenie falkowe stosowane jako obróbka wstępna działa wtedy jak dolnoprzepustowe filtrowanie szumów i może ułatwić zdekodowanie informacji diagnostycznych.

Podsumowanie

Badania przytoczone w tej pracy, a także w pracach wymienionych w bibliografii [1–4] wykazują, że granica filtrowania przesuwa się w kierunku niskich częstotliwości, wraz ze wzrostem poziomu dekompozycji. W konsekwencji coraz więcej wartościowych informacji jest przenoszonych do kolejnych detali. Równocześnie w pasmach niskich częstotliwości ujawniają się niekiedy maksima lokalne, wytworzone przez procedurę DWT, niosące informacje, których nie ma w sygnale. To oznacza, że poziom dekompozycji sygnału, określony przez kryterium stopu przekształcenia falkowego, decyduje o jakości i ilości wartościowych informacji widmowych zachowanych w aproksymacjach i ma istotne znaczenie dla wykorzystania charakterystyk falkowych dla celów diagnostyki urządzeń mechanicznych.

Ważną rolę odgrywa dobór kształtu falki, który powinien być podobny do przebiegu zdeterminowanej składowej badanego sygnału; spełnienie tego warunku wymaga posiadania informacji a priori o tym przebiegu. Ponieważ pozyskanie tych informacji jest na ogół celem badań, to dobór falki zasadza się na doświadczeniu i intuicji badacza oraz jego wiedzy o sposobie funkcjonowania badanego urządzenia. Dotychczasowe badania wykazują, że spośród znanych, zdefiniowanych i dobrze opisanych, do dekompozycji wibroakustycznych sygnałów diagnostycznych, najlepsze są falki pozbawione nieciągłości i ostrych maksimów.

Bibliografia

1. Józefczyk I.: Transformacja falkowa w wibroakustycznej diagnostyce technicznej. *Problemy Eksploatacji*, 2006, 1, 7–13.
2. Józefczyk I., Kurowski W., Pankowski A.: Zastosowanie transformacji falkowej w diagnostyce urządzenia mechanicznego. *Mat. XXXIV Ogólnopolskiego Symp. „Diagnostyka Maszyn”*, Węgierska Górka 2007.
3. Józefczyk I., Kurowski W., Walczak R.: Zastosowanie transformacji falkowej do obróbki niestacjonarnych sygnałów diagnostycznych. *Mat. XXXV Ogólnopolskiego Symp. „Diagnostyka Maszyn”*, Węgierska Górka 2008.
4. Józefczyk I., Kurowski W.: Transformacja falkowa w diagnostyce urządzeń technicznych. *Diagnostyka*, 2008, 2(46).
5. Żółtowski B., Cempel Cz. i in.: *Inżynieria diagnostyki maszyn*. Polskie Towarzystwo Diagnostyki Technicznej, ITeE – PIB, Radom – Warszawa – Bydgoszcz 2004.
6. Batko W., Ziółko M.: *Zastosowanie teorii falek w diagnostyce technicznej*. WIMiR, Kraków 2002.
7. Batko W., Dąbrowski Z., Engel Z., Kiciński J., Weyna S.: *Nowoczesne metody badania procesów wibroakustycznych*. Cz. I. Wyd. ITeE – PIB, Radom 2005.
8. Białasiewicz J.T.: *Falki i aproksymacje*. WNT, Warszawa 2000.

Recenzent:
Wojciech BATKO

Wavelet transform in mechanical devices diagnostics

Key words

Diagnostic information, digital signal processing, wavelet transform.

Summary

The article attempts to define the conditions that must be fulfilled by the wavelet. These conditions ensure that after the wavelet transformation, the signal will be able to decode diagnostics information.

The transformation embraced two simulation signals (stationary and non-stationary) and a signal from a mechanical appliance. Based on the results, the thesis attaching a great importance to wavelet selection has been corroborated. Also, emphasis was put on wavelet transformation as a useful tool for initial transformation.