RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **231337**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **419884**

(22) Data zgłoszenia: **19.12.2016**

(51) Int.Cl.
G01N 29/12 (2006.01)
G01N 29/44 (2006.01)
G01H 13/00 (2006.01)

(54) **Urządzenie do identyfikacji częstotliwości własnych, zwłaszcza do ciągłych układów wibroakustycznych**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
02.07.2018 BUP 14/18

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
28.02.2019 WUP 02/19

(73) Uprawniony z patentu:
CENTRALNY INSTYTUT OCHRONY PRACY – PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY, Warszawa, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
TOMASZ KRUKOWICZ, Starachowice, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Joanna Bocheńska

PL 231337 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie do identyfikacji częstotliwości własnych, zwłaszcza do ciągłych układów wibroakustycznych.

Przedmiot wynalazku dotyczy zagadnień analizy modalnej. Wykonuje się ją w celu identyfikacji częstotliwości własnych, współczynnika tłumienia oraz amplitudy modów normalnych ciągłych układów wibroakustycznych.

Istniejące metody analizy modalnej bazują na przekształceniu Fouriera, które ze względu na zasadę nieoznaczoności charakteryzują się małą rozdzielczością. Powoduje to powstawanie dużego błędu wyznaczania częstotliwości własnych, gdy rozkład modalny badanej struktury charakteryzuje się dużą gęstością modów.

Znany jest z publikacji WO0133182 (A1) sposób analizy wibracji układów wibroakustycznych, który polega na analizie sygnałów z jednego lub więcej czujników drgań poprzez obliczenie za pomocą przekształcenia Fouriera macierzy widmowej gęstości mocy i jej dekompozycji metodą rozkładu wartości osobliwych. Sposób umożliwia wyznaczenie wartości częstotliwości własnych, współczynników tłumienia oraz postaci drgań.

Znany jest z publikacji EGE, Kerem; BOUTILLON, Xavier; DAVID, Bertrand. High-resolution modal analysis. Journal of Sound and Vibration, 2009, 325.4: 852–869, sposób analizy modalnej wykorzystujący metodę estymacji parametrów sygnałów znaną pod nazwą ESPRIT oraz metodę perturbacji znaną pod nazwą ESTER.

Celem wynalazku jest możliwość identyfikacji częstotliwości własnych ciągłego układu wibroakustycznego bez konieczności stosowania technik przetwarzania sygnałów o wysokiej złożoności obliczeniowej, zwłaszcza szybkiej transformaty Fouriera.

Urządzenie do identyfikacji częstotliwości własnych, zwłaszcza ciągłych układów wibroakustycznych posiada co najmniej jeden czujnik pomiarowy, korzystnie mikrofon i/lub akcelerometr i/lub film piezoelektryczny, układ przedwzmacniacza, filtr antyaliasingowy, przetwornik analogowo-cyfrowy oraz układ cyfrowego przetwarzania sygnałów, w którym znajdują się następujące bloki:

- cyfrowy filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości odcięcia 1/8 częstotliwości próbkowania,
- cyfrowy filtr o nieskończonej odpowiedzi impulsowej, którego wielomian zmiennej zespolonej Z licznika transmitancji posiada cztery pierwiastki rzeczywiste równe zero a wielomian mianownika jest stopnia czwartego oraz rożne od zera są tylko współczynniki stopni parzystych i zerowego,
- układ normalizujący,
- przetwornik wartości skutecznej,
- dyskryminator amplitudy,
- układ pętli histerezy,
- układ różniczkujący,
- detektor przejść przez zero,
- układ kopiujący,
- wyświetlacz,
- oraz układ przekształcający wartość współczynnika przy drugiej potędze wielomianu na częstotliwość.

Czujnik pomiarowy rejestrujący odpowiedź badanego układu połączony jest poprzez przedwzmacniacz i filtr antyaliasingowy z przetwornikiem analogowo-cyfrowym. Wyjście przetwornika połączone jest poprzez wejście układu przetwarzania sygnałów z filtrem dolnoprzepustowym o częstotliwości odcięcia równej co najwyżej 1/8 częstotliwości próbkowania. Wyjście filtru dolnoprzepustowego jest połączone z wejściem filtru cyfrowego filtru o nieskończonej odpowiedzi impulsowej o dwóch współczynnikach: współczynniku ustalającym dobroć filtru oraz współczynniku ustalającym częstotliwość środkową filtru. Wyjście filtru pasmowo-przepustowego jest połączone z wejściem przetwornika wartości skutecznej bezpośrednio lub korzystnie poprzez układ normalizujący. Wyjście przetwornika wartości skutecznej połączone jest z wejściem układu pętli histerezy poprzez układ dyskryminatora amplitudy, którego wyjście połączone jest z wejściem układu pętli histerezy. Wyjście układu pętli histerezy połączone jest z wejściem układu różniczkującego. Wyjście układu różniczkującego połączone jest poprzez detektor przejść przez zero z wejściem wyzwalającym układu kopiującego, który kopiuje aktualną wartość współczynnika ustalającego częstotliwość środkową filtru pasmowo-przepustowego do układu

przekształcającego wartość współczynnika ustalającego częstotliwość środkową filtru pasmowo-przepustowego na częstotliwość. Układ przekształcający wartość współczynnika ustalającego częstotliwość środkową filtru pasmowo-przepustowego na częstotliwość może być zrealizowany w formie tablicy przeglądowej lub funkcji matematycznej.

Zespół filtrów tworzących filtr pasmowo-przepustowy o dużej dobroci pozwala osiągnąć wysoką rozdzielczość częstotliwości. Układ strojenia tego filtru wykorzystuje fakt, że układ wibroakustyczny pobudzony sygnałem o częstotliwości równej jego częstotliwości własnej, emituje do otoczenia sygnały o dużej energii. Cechą znamienną układu strojenia jest sposób przekształcenia odpowiedzi badanego układu na wartość częstotliwości pobudzenia. Celem przekształcenia nieliniowego jest uzyskanie gładkiego przebiegu czasowego, którego pochodna podana na detektor przejść przez zero stanowi impuls dla układu wyzwalania.

Przedmiot wynalazku został pokazany na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia schemat blokowy urządzenia.

P r z y k ł a d

Urządzenie do identyfikacji częstotliwości własnych, zwłaszcza ciągłych układów wibroakustycznych jest wyposażone w czujnik pomiarowy **1** (mikrofon), układ przedwzmacniacza **2**, filtr antyaliasingowy **3**, przetwornik analogowo-cyfrowy **4** oraz układu cyfrowego przetwarzania sygnałów **5**, w którym znajdują się następujące bloki:

cyfrowy filtr dolnoprzepustowy **6** i częstotliwości odcięcia równej 1/8 częstotliwości próbkowania, cyfrowy filtr o nieskończonej odpowiedzi impulsowej **7** zawierający dwa współczynniki **7a** i **7b**: współczynnik ustalający dobroć filtru **7a** i współczynnik ustalający częstotliwość środkową filtru **7b**, wielomian zmiennej zespolonej Z licznika transmitancji cyfrowego filtru o nieskończonej odpowiedzi impulsowej **7** posiada cztery pierwiastki rzeczywiste równe zero a wielomian mianownika tej transmitancji jest stopnia czwartego oraz rożne od zera są tylko współczynniki wielomianu stopni parzystych i zerowego, układ normalizujący **8**, przetwornik wartości skutecznej **9**, dyskryminator amplitudy **10**, układ pętli histerezy **11**, układ różniczkujący **12**, detektor przejść przez zero **13**, układ kopiujący **14** oraz układ przekształcający wartość współczynnika przy drugiej potędze wielomianu na wartość częstotliwości **15**. Wartość częstotliwości jest wyświetlana na wyświetlaczu **16**.

Czujnik pomiarowy **1** rejestrujący odpowiedź badanego układu **17** połączony jest poprzez przedwzmacniacz **2** i filtr antyaliasingowy **3** z przetwornikiem analogowo-cyfrowym **4**. Wyjście przetwornika **4** połączone jest poprzez wejście układu przetwarzania sygnałów **5**, z filtrem dolnoprzepustowym o częstotliwości odcięcia równej 1/8 częstotliwości próbkowania. Wyjście filtru **6** jest połączone z wejściem cyfrowego filtru o nieskończonej odpowiedzi impulsowej **7** o dwóch współczynnikach: współczynniku ustalającym dobroć filtru **7a** i współczynniku ustalającym częstotliwość środkową filtru **7b**. Wyjście filtru cyfrowego o nieskończonej odpowiedzi impulsowej **7** jest połączone z wejściem przetwornika wartości skutecznej **9** bezpośrednio poprzez układ normalizujący **8**. Wyjście układu **9** połączone jest z wejściem układu pętli histerezy **11**, poprzez układ dyskryminatora amplitudy **10**. Wyjście układu **11** połączone jest z układem różniczkującym **12**. Wyjście układu **12** połączone jest poprzez detektor przejść przez zero **13** z wejściem wyzwalającym **14a** układu kopiującego **14**, który kopiuje aktualną wartość współczynnika **7b** do układu przekształcającego **15** wartość współczynnika na częstotliwość. Układ **15** może być zrealizowany w formie tablicy przeglądowej lub funkcji matematycznej. Wartość częstotliwości jest wyświetlana na wyświetlaczu **16**.

Urządzenie według wynalazku wymaga wykonania mniejszej liczby operacji arytmetyczno-logicznych niż liczba takich operacji wymagana do obliczenia szybkiej transformaty Fouriera wykorzystywanej w WO0133182 (A1) oraz wymaga wykonania mniejszej liczby operacji arytmetyczno-logicznych niż liczba takich operacji niezbędnych do realizacji metod ESPRIT i ESTER znanych z publikacji EGE, Kerem; BOUTILLON, Xavier; DAVID, Bertrand. High-resolution modal analysis. Journal of Sound and Vibration, 2009, 325.4: 852–869.

Zastrzeżenia patentowe

1. Urządzenie do identyfikacji częstotliwości własnych, zwłaszcza ciągłych układów wibroakustycznych posiadające co najmniej jeden czujnik pomiarowy, układ przedwzmacniacza, filtr antyaliasingowy, przetwornik analogowo-cyfrowy, układ cyfrowego przetwarzania sygnałów oraz wyświetlacz, **znamienne tym**, że układ cyfrowego przetwarzania sygnałów (5) składa się z następujących bloków:
   - cyfrowy filtr dolnoprzepustowy (6) o częstotliwości odcięcia 1/8 częstotliwości próbkowania,
   - cyfrowy filtr o nieskończonej odpowiedzi impulsowej (7), którego wielomian zmiennej zespolonej Z licznika transmitancji posiada cztery pierwiastki rzeczywiste równe zero a wielomian mianownika jest stopnia czwartego oraz rożne od zera są tylko współczynniki stopni parzystych i zerowego,
   - układ normalizujący (8),
   - przetwornik wartości skutecznej (9),
   - dyskryminator amplitudy (10),
   - układ pętli histerezy (11),
   - układ różniczkujący (12),
   - detektor przejść przez zero (13),
   - układ kopiujący (14),
   - oraz układ przekształcający wartość współczynnika przy drugiej potędze wielomianu na częstotliwość (15)

   przy czym czujnik pomiarowy (1) połączony jest poprzez przedwzmacniacz (2) i filtr antyaliasingowy (3) z przetwornikiem analogowo-cyfrowym (4) a wyjście przetwornika (4) połączone jest poprzez wejście układu cyfrowego przetwarzania sygnałów (5) z filtrem dolnoprzepustowym (6) o częstotliwości odcięcia równej co najwyżej 1/8 częstotliwości próbkowania, wyjście filtru dolnoprzepustowego (6) jest połączone z wejściem cyfrowego filtru o nieskończonej odpowiedzi impulsowej (7) o dwóch współczynnikach: współczynniku ustalającym dobroć filtru (7a) oraz współczynniku ustalającym częstotliwość środkową filtru (7b), ponadto wyjście cyfrowego filtru o nieskończonej odpowiedzi impulsowej (7) jest połączone z wejściem przetwornika wartości skutecznej (9) a wyjście przetwornika wartości skutecznej (9) połączone jest z wejściem układu dyskryminatora amplitudy (10), którego wyjście połączone jest z wejściem układu pętli histerezy (11), ponadto wyjście układu pętli histerezy (11) połączone jest z wejściem układu różniczkującego (12), którego wyjście połączone jest poprzez detektor przejść przez zero (13) z wejściem wyzwalającym (14a) układu kopiującego (14).
2. Urządzenie według zastrz. 1, **znamienne tym**, że jako czujnik pomiarowy (1) stosuje się mikrofon lub akcelerometr lub film piezoelektryczny.
3. Urządzenie według zastrz. 1, **znamienne tym**, że układ przekształcający (15) zrealizowany jest w formie tablicy przeglądowej lub funkcji matematycznej.
4. Urządzenie według zastrz. 1, **znamienne tym**, że wyjście cyfrowego filtru o nieskończonej odpowiedzi impulsowej (7) jest połączone z wejściem przetwornika wartości skutecznej (9) poprzez układ normalizujący (8).

Rysunek

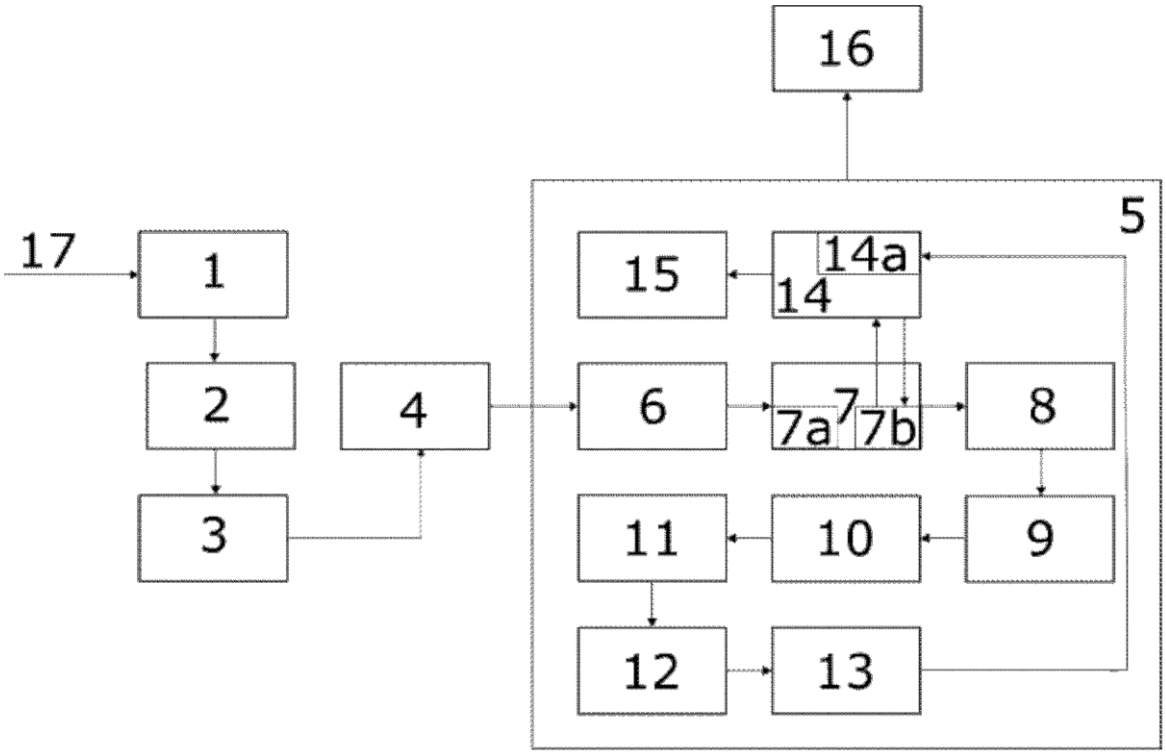

Fig. 1

Departament Wydawnictw UPRP
Cena 2,46 zł (w tym 23% VAT)