

ZASTOSOWANIE TRANSFORMATY Z W OPISIE ZMIAN STANÓW OBIEKTÓW

Tomasz ROGALA

Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska w Gliwicach
ul. Konarskiego 18A tel. 237-14-67
tr@polsl.pl

Streszczenie

Niniejszy artykuł ma na celu przedstawienie spostrzeżeń i uwag dotyczących zastosowania transformaty Z do identyfikacji stanów obiektów, a przede wszystkim zmian tych stanów. W diagnostyce maszyn dużą rolę odgrywa analiza zachodzących zmian stanów technicznych, będąca podstawą do prognozowania. Podstawowym problemem jest sposób interpretacji parametrów modeli diagnostycznych. Dotyczy to przede wszystkim sposobu analizowania wartości tych parametrów oraz w szczególności ich zmian. Zmiany związane ze stanem obiektu, odzwierciedlają się, bowiem w zmianach parametrów fizycznych, a te z kolei w parametrach modeli. Zastosowanie płaszczyzny zespolonej Z jako płaszczyzny reprezentacji modelu diagnostycznego może być pomocna w diagnozowaniu stanu obiektu. Praca jest kontynuacją wcześniejszych doświadczeń związanych z zastosowaniem diagnozowania maszyn wirnikowych w oparciu o analizę położenia biegunów i zer na płaszczyźnie zespolonej ciągłej.

Słowa kluczowe: modele regresyjne, identyfikacja zmian, transformata Z, sieci Bayes'a

APPROACH OF Z TRANSFORM IN DESCRIPTION OF CHANGES OF OBJECT STATES

Summary

The paper was devoted to present some notices and attentions in relation to application Z transform for purpose of identification of object state and most of all identification of their changes. An analysis of changes of technical states performs an elementary function in machine diagnostics and can be used in prediction. A manner of interpretation of the diagnostic model parameters is a principal problem. Most of all, it concern a way of analysis of values and changes of models parameters. Changes of object states are reflected in their physical parameters and they are next represented in model parameters. An application of complex plane Z as a plane of diagnostic model representation may be helpful in diagnosis of object states. This article is a continuance of earlier experiences connected with working out a method of diagnosing of rotating machine based on analysis of poles/zeros arrangement on the continuous complex plane

Keywords: regressive models, identification of changes, Z transformation, Bayesian network

1. WSTĘP

W analizie obiektów dynamicznych ważną rolę odgrywa identyfikacja zachodzących zmian. Celem jest rozpoznanie różnic pomiędzy aktualnym, a poprzednimi stanami i wyciągnięcie na tej podstawie istotnych informacji począwszy od wykrycia zmiany, diagnozy, a skończywszy na prognozie dalszej eksploatacji obiektu. Istotnym problemem jest sposób identyfikacji zmian, oraz ocena ich wielkości. Również to, w jaki sposób dokonywać detekcji zmian, jak dokonywać lokalizacji uszkodzeń oraz jak wykrywać w pewnych wolnozmiennych procesach.

Większość aktualnie używanych metod identyfikacji zmian ogranicza się do detekcji i lokalizacji uszkodzeń w oparciu o pewien zbiór porównawczy. Przykładem mogą być metody występujące w diagnostyce wspartej modelowo, a

więc metody oparte na o np. generowanie residuów w odniesieniu do różnych modeli, czy też metody grupowania.

Zastosowanie transformaty Z wydaje się być narzędziem pomocnym przy analizie zmian stanów obiektów, bardziej jednolitym, niewymagającym dodatkowych analiz, jak i pozwalającym na obserwację pewnych zmian, które trudno jest wyróżnić przy użyciu, np. widma częstotliwościowego obiektu.

Niniejszy artykuł ma na celu przedstawienie zastosowania transformaty Z w identyfikacji stanu i ich zmian oraz przedstawienie szeregu uwag i spostrzeżeń dotyczących identyfikacji zmian w oparciu o analizę położenia biegunów i zer na dyskretnej płaszczyźnie zespolonej. Praca została oparta na bazie wcześniejszych doświadczeń związanych z zastosowaniem badania położenia

biegunów i zer na płaszczyźnie zespolonej ciągłej [1].

2. KONCEPCJA

Podstawowa koncepcja związana z zastosowaniem transformaty Z w diagnozowaniu zmian stanów obiektów związana jest z diagnostyką wspartą modelowo, gdzie np. poprzez symulację tworzy się modele różnych klas stanów. Nie wyklucza to zastosowania metody w tzw. diagnostyce symptomowej jaka towarzyszy np. badaniom maszyn wirnikowych w warunkach rozruchu, czy wybiegu ale wymaga innego podejścia. Posługując się modelem diagnostycznym dla celów detekcji, lokalizacji czy identyfikacji stanu podstawowym problemem okazuje się sposób interpretacji wartości parametrów modelu, oraz ich zmian. W większości ogólnie znanych metod diagnostycznych, parametry modeli mają wyraz bezwymiarowy. Tylko w nielicznych metodach jak np. identyfikacji on-line poszukiwana jest funkcja odwrotna pozwalająca na skorelowanie parametrów modelu diagnostycznego z parametrami fizycznymi obiektu. Zmiany związane ze stanem obiektu, odzwierciedlają się w zmianach parametrów fizycznych, a te z kolei w parametrach modeli [4].

Zastosowanie płaszczyzny zespolonej Z jako płaszczyzny reprezentacji modelu diagnostycznego definiuje system, i pozwala na łatwiejsze interpretowanie zmian w sensie fizycznym.

2.1 Transformata Z

Transformata Z jako odpowiednik przekształcenia Laplace'a w dziedzinie dyskretnej jest definiowana jako [5]:

$$H(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n)z^{-k} \quad (1)$$

gdzie $h(n)$ jest dyskretnym ciągiem. Jako pierwsza została zdefiniowana dla systemów przyczynowych przez W. Hurewicza [3]:

$$Z(f(kT)) = \sum_{k=0}^{\infty} f(kT)z^{-k} \quad (2)$$

Podstawową własnością transformaty Z jest przesunięcie (operacja opóźnienia) co w rzeczywistości pozwala na przekształcenie równań różnicowych na postać algebraiczną i pozwala na ich rozwiązanie. Podobnie jak przekształcenie Laplace'a transformata Z posiada podobne własności, które pozwalają na zastosowanie transformaty Z z punktu widzenia omawianego zastosowania. Istotną własnością jest liniowość, gdzie transformata sumy ciągów jest sumą ich transformat. Również spłot dwóch sygnałów jest iloczynem transformat i odwrotnie [3].

Inne ważne spostrzeżenia dotyczące transformaty Z związane z zastosowaniem przekształcenia dla potrzeb omawianego systemu to:

- Brak konieczności przekształcenia analizowanych sygnałów lub modeli na postać ciągłą, w

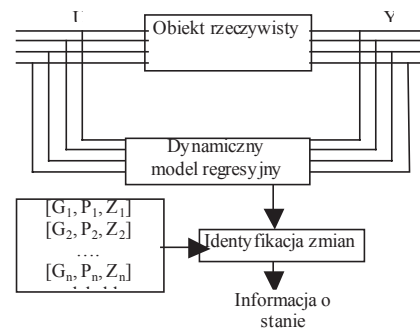
porównaniu do metody analizowania położenia biegunów i zer na płaszczyźnie zespolonej S ,

- Jeśli opóźnienie w układzie nie jest liczbą całkowitą równą wielokrotności odstepu próbkowania, należy zastosować zmodyfikowane przekształcenie Z [3],
- Geometryczne zależności opisujące położenie biegunów i zer na płaszczyźnie zespolonej pozwala na określenie zarówno amplitud, jak i fazy dla każdego z charakterystycznych punktów (składowych) bez potrzeby analizy całego widma częstotliwościowego, lub fazowego [3],
- Do opisanie każdego z modeli wystarczy podanie wartości wzmocnienia, położenia biegunów oraz zer,
- W kole jednostkowym zawarte są wszystkie informacje (zakładając, że układ jest stabilny) co nie wymaga skalowania obserwowanej płaszczyzny, konieczne jest jednak podanie wartości z jaką analizowane przebiegi zostały spróbkowane,
- Do wad można zaliczyć przede wszystkim problemy z analizą systemów nieliniowych w oparciu o bieguny i zera, w przypadku gdy model jest liniowy, dotyczy to również trudności z redukcją struktury modelu (rzędu) [7]

2.2 Schemat ogólny

Jak już wcześniej wspomniano metoda identyfikacji zmian z zastosowaniem transformaty Z opiera się na założeniu, odzwierciedlenia parametrów fizycznych obiektu w parametrach jego modelu [4]. Pomocna może być interpretacja położenia biegunów i zer w okręgu jednostkowym poprzez przyzmat cech z nimi związanych, a mających fizyczny charakter. Na przykład poprzez wyznaczenie wartości częstotliwości naturalnej, współczynnika tłumienia, stabilności, fazy, amplitudy itp.. Analiza tych cech pozwala na łatwa interpretacje np. zmian sztywności w układzie spowodowanym np. pęknięciem, a która trudna jest do zaobserwowania poprzez tylko widmo częstotliwościowe.

Ogólną koncepcję systemu przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1 Schemat ogólny systemu diagnostycznego

Docelowo dla diagnostyki symptomowej można poszukiwać rozwiązania bardziej ogólnego, opierającego się na wiedzy związanych z określonym uszkodzeniem np. propagacja

mikropeknąć objawia się m.in. jako zmiana sztywności. System taki nie wymaga znajomości zbioru zdarzeń.

Rozpatrując koncepcję związaną z diagnostyką wspartą modelowo można wyróżnić następujące etapy. Zbudowanie modelu np. numerycznego, następnie generowanie na bazie tegoż modelu różnych przypadków niesprawności maszyn wirnikowych np. niewyrównowazenia, poluzowania w posadowieniu itp..

Modele zebrane w pewnej bazie np. bazie wiedzy systemu doradczego służą jako punkt odniesienia dla identyfikowania zmian. Zawierają również nie tylko przypadki jednoznaczne, ale modele pośrednie reprezentujące stany związane z powstawaniem uszkodzenia, co pozwala na określenie charakteru zmian, np. jego kierunku w przypadku położenia biegunów czy zer.

Z drugiej strony budowany jest model rzeczywistego obiektu, którego odpowiednie zmienne procesowe są porównywane z różnymi klasami innych zmiennych procesowych zawartych w bazie. Na podstawie takiego działania wynikiem jest diagnoza. Podstawowym założeniem jest jednak zgodność struktur i typów modeli wcześniej uzyskanych jak i bezpośrednio badanego reprezentanta obiektu.

3. IDENTYFIKACJA OBIEKTU

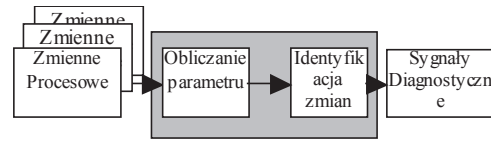
W przypadku modeli czarnych skrzynek najbardziej popularne metody opierają się na algorytmach regresji, sieciach neuronowych itp. Jedną z bardziej popularnych metod identyfikacji są algorytmy identyfikacji systemów [7][9]. Pozwalają zarówno na definiowanie modeli liniowych jak i nieliniowych, systemów bądź sygnałów ze zmiennymi parametrami względem czasu itp.

Sposób identyfikowania samych modeli jest szeroko opisywany w licznych publikacjach m.in. [7][9]. Ważnymi jednak z punktu rozpatrywanego zagadnienia jest kilka cech. Modele takie powinna cechować wysoka dokładność wyznaczania estymowanych parametrów, co jest typowe nie tylko dla zastosowania metod identyfikacji dla potrzeb diagnostyki, ale przede wszystkim samego celu związanego z identyfikacją zmian. Od identyfikacji zmian zależy bowiem sprawność i czułość takiego systemu. Ze względu na przedstawione wymogi wysokiej aproksymacji wybrano metody zmiennych instrumentalnych oraz najmniejszej predykcji [9].

4. METODA IDENTYFIKACJI ZMIAN

Identyfikacja zmian ma znaczący wpływ na sprawność systemu diagnozującego, oraz jego czułość. Poniżej przedstawiono funkcje ogólną zadania identyfikacji zmian, której celem jest odpowiednie przekształcenie zmiennych procesowych w postaci biegunów lub zer, na sygnał diagnostyczny, po uprzednim wyznaczeniu wartości określonych cech. Na wejściu do przedstawionego schematu identyfikacji zmian, podawane są

określone klasy zmiennych procesowych reprezentujących różne stany niesprawności [6].



Rys. 2 Identyfikacja zmian [wg 6]

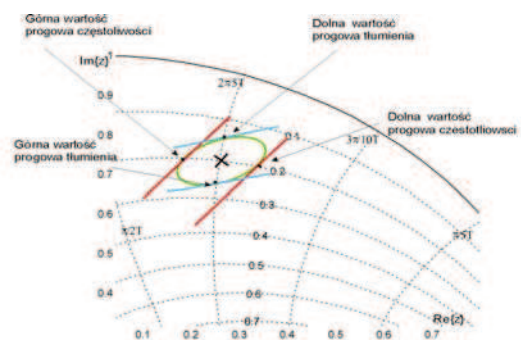
Obliczanie parametru jest modulem odpowiedzialnym za wykonanie działań dążących do obliczenia, zamiany zmiennych procesowych na określone wartości cech. Cechy te również powinny być relewantne, a więc nie powinny tworzyć redundancji informacyjnej w określaniu sygnałów diagnostycznych. Dlatego też np. w przypadku biegunów podwójnych towarzyszących układom oscylacyjnym, rozpatrywany jest tylko jeden z nich np. bieguny leżące w górnej połowie koła jednostkowego.

Ze względu na możliwość bardziej fizycznego opisu postanowiono dla każdego zbioru {wzmocnienie, bieguny, zera} wygenerować zbiór cech fizycznych wcześniej omówionych. Każde z nich jest następnie sprawdzane pod kątem informatywności wpływu na ocenę stanu technicznego danej klasy uszkodzeń.

Niektóre z cech nie są cechami relewantnymi dla określonych uszkodzeń, dlatego też stanowią tylko pewne uzupełnienie w przypadku braku rozróżnialności pewnych stanów, cechujących się podobnymi zmianami.

Ustalenie wartości progowej dla analizowanych cech, określane zostają na podstawie przecięcia się linii zmian cech z elipsą ufności.

Omawiane zadanie wyznaczania wartości progowych dla tych parametrów przedstawia rys. 2



Rys. 3 Określanie wartości progowych dla czynników procesowych tłumienia i częstotliwości na podstawie wartości brzegowych elipsy ufności

Elipsy ufności wyznaczane są na bazie funkcji kowariancji, zaś wielkość elipsy można zmieniać na bazie odchylenia standardowego. Daje to możliwość sterowaniem czułości systemu, zmieniając tym samym wartości progowe. Wyniki dotyczące

zastosowania metody identyfikacji zmian zostały również zbadane pod kątem wpływu szumu.

Zaobserwowano, że powiększenie elipsy zachodzi dla większej wartości SNR, ale nie wpływa na zmianę jej położenia, co pozwala na zastosowanie metody dla sygnałów zaszumionych.

Na podstawie przekroczenia wartości progowych definiowane są sygnały diagnostyczne (przykładowe sygnały diagnostyczne przedstawia zależność 3) przekazywane następnie do układu zajmującego się wnioskowaniem uzyskanych wyników. Dla przeprowadzonych badań zastosowano sieć Bayes'a jako narzędzie wnioskowania, w oparciu o aparat statystyczny, gdzie wykorzystano strukturę QMR. Węzły hipotetyczne dotyczą niesprawności, natomiast węzły informacyjne to węzły z sygnałami informującymi o zmianach. Dla potrzeb rozróżnienia określonych niesprawności dołączono również węzły (poprzedzone węzłami klasyfikującymi) pozwalające na porównanie wartości przy tych samych przesłankach informujących o zmianach.

Możliwe jest również zastosowanie innych metod wnioskujących na podstawie sygnałów diagnostycznych, jak np. regułowe systemy doradcze, binarne macierze diagnostyczne itp.

$$s1 = \begin{cases} \text{rosnie}B & \text{biegun}\{B\{z\}\} > K_{BR} \\ \text{maleje}B & \text{biegun}\{B\{z\}\} < K_{BM} \\ \text{staly}B & K_{BM} \leq \text{biegun}\{B\{z\}\} \leq K_{BR} \end{cases} \quad (3)$$

$$s2 = \begin{cases} \text{rosnie}F & \text{biegun}\{F\{z\}\} > K_{FR} \\ \text{maleje}F & \text{biegun}\{F\{z\}\} < K_{FM} \\ \text{staly}F & K_{FM} \leq \text{biegun}\{F\{z\}\} \leq K_{FR} \end{cases}$$

$$s3 = \begin{cases} \text{rosnie}\alpha & \text{zero}\{\alpha\{z\}\} > K_{\alpha R} \\ \text{maleje}\alpha & \text{zero}\{\alpha\{z\}\} < K_{\alpha M} \\ \text{staly}\alpha & K_{\alpha M} \leq \text{zero}\{\alpha\{s\}\} \leq K_{\alpha R} \end{cases}$$

5. PODSUMOWANIE

Na podstawie obserwacji i badań z użyciem omawianej metody na bazie modelu symulacyjnego wirnika Jeffcott'a wyróżniono następujące zalety i wady:

- możliwość uzyskania dużej czułości systemu,
- odporność na chwilowe zakłócenia, i krótkotrwałe fluktuacje,
- możliwość dokładnego i prostego opisu zachodzących zmian,
- duże przywiązanie uwagi do strojenia systemu

Ponadto obserwacja pewnych zmian związanych ze stanem maszyn, np. związane ze zmianą sztywności, bądź tłumienia, jest łatwiejsza w porównaniu do badania z użyciem charakterystyki częstotliwościowej (zmiana kształtu charakterystyki peaku). Nie wymaga, zatem obserwacji szeregu innych dodatkowych cech.

Można wyrazić przekonanie, że zastosowanie transformaty Z jest ciekawym i istotnym zagadnieniem pod kątem identyfikacji zmian obiektów. Przestrzeń okręgu jednostkowego

reprezentująca cały obiekt/model, mała liczba cech opisujących, pozwala sądzić, że jest to kierunek, pozwalający na zbudowanie systemu również dla diagnostyki symptomowej, co pozwoli uogólnić metodę na pewną klasę maszyn.

Głównym celem dalszych badań na podstawie przedstawionych wyników jest poszukiwanie takiego opisu obiektu, który pozwoli na jego zastosowanie w zmiennych warunkach działania, co wymaga opisu niezależnego w pewnym zakresie od warunków działania. Prace w celu znalezienia takich metod były już prowadzone w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn m.in. [1][2][9][11].

LITERATURA

- [1] P. Czop, *Diagnostic models of rotating machinery under transient operating conditions*, Zeszyty Naukowe KPKM Politechniki Śląskiej w Gliwicach, nr 122, Gliwice 2001.
- [2] W. Cholewa, *Metoda oceny sygnału akustycznego przekładni zębatych dla badań konstrukcyjnych*. Gliwice: Politechnika Śląska, Zeszyty Naukowe IPKM z.22/56.
- [3] <http://www.enme.ucalgary.ca/~aramirez/Sampled-data-systems-1.ppt>
- [4] J. Hu, *Research on hybrid black-box modelling for nonlinear systems and its applications*, Kyushu Institute of Technology, PhD Thesis 2002.
- [5] J. Kudrewicz, *Przekształcenie "Z" i równania różnicowe*. Warszawa: Wydaw. Naukowe PWN, 2000
- [6] J. Korbicz, J. M. Kościelny, Z. Kowalczyk, W. Cholewa, *Diagnostyka Procesów - Modele, Metody Sztucznej Inteligencji Zastosowania*, WNT, Warszawa, 2002.
- [7] K. Janiszowski, *Identyfikacja modeli parametrycznych*, Excit, Warszawa 2002.
- [8] W. Moczulski, *Metoda wibroakustycznych badań maszyn wirnikowych w warunkach rozruchu, lub zatrzymania*. Gliwice: Politechnika Śląska, IMiPKM 1984.
- [9] T. Soderstrom, P. Stoica, *Identyfikacja systemów*, PWN, Warszawa, 1997 (in polish).
- [10] A. Timofiejczuk *Metoda badania maszyn wirnikowych w warunkach rozruchu, rozbiegu i wybiegu*. Gliwice: Politechnika Śląska, Zeszyty Naukowe seria „Mechanika” z.133 1999.



Tomasz ROGAŁA jest doktorantem w Katedrze Podstaw Konstrukcji Maszyn Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Jego zainteresowania naukowe skupiają się na zastosowaniu metod sztucznej inteligencji w diagnostyce maszyn i procesów.