

Prof. dr hab. inż. Bogdan Posiadała
Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn
Politechnika Częstochowska

RECENZJA

rozprawy doktorskiej **mgr. inż. Jacka Harazina**

pt.: „**Synteza i analiza złożonych układów piezoelektrycznych z uwzględnieniem metod klasycznych i nieklasycznych**”

wykonana dla Rady Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej
(umowa o dzieło, pismo prof. dr hab. inż. Ewy Majchrzak - Przewodniczącej Rady
Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Śląskiej, z dnia 03.04.2024 r.)

1. Charakterystyka rozprawy

Opiniowana rozprawa doktorska zawiera 189 stron i obejmuje osiem rozdziałów, przed którymi zamieszczono streszczenie rozprawy, jej spis treści oraz wykaz oznaczeń stosowanych w pracy. Po rozdziale zatytułowanym „*Wnioski oraz uwagi końcowe*” zamieszczono, jako rozdział ósmy, bibliografię, która jest wykazem 102 pozycji literatury.

Wstęp, który jest pierwszym rozdziałem pracy stanowi wprowadzenie do tematyki pracy doktorskiej. W dalszej części rozdziału opisano na bazie wybranej literatury dotychczasowy stan wiedzy w kontekście tematyki pracy, a w szczególności opisano metody analizy oraz syntezy układów piezoelektrycznych. Wskazując obszary tematyczne, gdzie występuje konieczność podjęcia dalszych badań sformułowano cel i zakres pracy, w tym jako cel użyteczny przyjęto udowodnienie poprawności tezy sformułowanej następująco:

„możliwe jest utworzenie metody syntezy piezoelektrycznych układów kaskadowych, reprezentujących rzeczywiste układy piezoelektryczne określone jako stosy, na bazie wejściowych danych w postaci zbioru częstotliwości rezonansowych, posiadając ograniczone informacje o parametrach dobieranych płytek piezoelektrycznych”.

Wskazując przyjęty sposób realizacji przyjętego celu i zakresu, w końcowej części tego rozdziału scharakteryzowano najważniejsze aspekty treści wszystkich rozdziałów rozprawy.

W rozdziale drugim zamieszczono opis zjawiska piezoelektrycznego oraz wzorów matematycznych i parametrów technicznych używanych do opisu właściwości materiałów piezoelektrycznych stosowanych w przemyśle. Opisano także wybrane rodzaje elementów piezoelektrycznych oraz struktury układów piezoelektrycznych, w tym zasadę ich działania. Zaprezentowane wzory, parametry i układy stanowią podstawę prowadzonej syntezy modeli matematycznych, co jest przedmiotem pracy opisanym w dalszej jej części.

Rozdział trzeci poświęcono opisowi zagadnień związanych z tzw. metodą liczb strukturalnych. Na przykładzie wybranego układu mechaniczno-elektrycznego przedstawiono sposób zapisu graficznej reprezentacji relacji zachodzących wewnątrz układów i oddziaływań zewnętrznych oraz opisano metodologię sporządzania liczb strukturalnych na podstawie utworzonych grafów. Zamieszczono także opis wybranych elementów algebry liczb strukturalnych.

Biuro Dziekana

wpłynęło dnia 06.06.2024
RDJMe 1100 15/1 2024
nr zał.

Rozdział czwarty obejmuje opis procesów: syntezy kaskadowego układu piezoelektrycznego oraz analizy otrzymanych modeli przy użyciu metody macierzowej oraz metody na bazie algebry liczb strukturalnych. W podrozdziałach opisano kolejno:

- metodę syntezy Cauera w odniesieniu do układu o nieskończonej liczbie stopni swobody oraz na przykładzie syntezy układu o dwóch stopniach swobody,
- procesu weryfikacji parametrów otrzymanego podukładu mechanicznego metodą macierzową oraz metodą grafów i liczb strukturalnych, przy czym na przykładzie układu o dwóch stopniach swobody porównano wyniki uzyskane obiema metodami,
- modyfikację modelu uzyskanego na podstawie syntezy Cauera poprzez dodanie elementów tłumiących, przy czym do wyznaczenia parametrów tłumienia zastosowano metodę Rayleigha, przy czym rozważania ograniczono do układów tłumionych podkrytycznie,
- analizę zmodyfikowanego układu klasyczną metodą macierzową oraz autorską metodą liczb strukturalnych, która łączy ze sobą metodę opartą na grafach oddziaływań oraz podział funkcji trygonometrycznych zastosowany przy metodzie macierzowej, przy czym dokonano porównania wyników otrzymanych obiema metodami i oceniono ich zgodność, a ponadto porównano czas operacji oraz użytą pamięć RAM przez przygotowane algorytmy komputerowe na bazie zastosowanych metod,
- model układu piezoelektrycznego, uzyskany poprzez połączenie otrzymanego w procesie syntezy dyskretnego podukładu mechanicznego z układem elektrycznym w postaci kondensatorów odpowiadających wartościom skupionym pojemności elektrycznej elementów piezoelektrycznych,
- przykład syntezy układu elektromechanicznego reprezentującego układ piezoelektryczny, przy czym wyznaczono wzory na wyznaczenie parametrów materiałowych lub geometrycznych syntezowanego układu piezoelektrycznego w zależności od parametrów wejściowych układu w postaci przyjętych częstotliwości rezonansowych.

W rozdziale piątym opisano program obliczeniowy do syntezy i analizy układów piezoelektrycznych opracowany w środowisku Matlab, z wykorzystaniem wzorów sformułowanych w ramach realizacji rozprawy doktorskiej i opisanych we wcześniejszych jej rozdziałach. Opisano strukturę programu oraz zamieszczono diagramy opisujące działanie aplikacji ze wszystkimi dostępnymi oknami interfejsu użytkownika oraz polami do wprowadzania danych, przy czym działanie programu uzupełniają ilustracje graficzne uzyskane w ramach realizacji badań symulacyjnych wybranego przykładu układu piezoelektrycznego.

W rozdziale szóstym opisano stanowisko badawcze, metodykę badań oraz wyniki zrealizowanych badań eksperymentalnych drgań płytek piezoelektrycznych oraz układów złożonych z płytek o różnych wymiarach bądź właściwościach materiałowych. Realizacja opisanych badań umożliwiła pozyskanie praktycznej wiedzy na temat kontroli oraz pomiaru drgań płytek piezoelektrycznych, a ponadto uzyskane wyniki stanowiły podstawę do walidacji odpowiedzi układów zamodelowanych przy zastosowaniu autorskiej metody syntezy oraz dały możliwość oceny zgodności wyników symulacyjnych z uzyskanymi eksperymentalnie, przy czym stwierdzono dobrą ich zgodność w odniesieniu do części rozważanych układów. Zamieszczone opisy dają także ważny materiał poznawczy w kontekście trudności realizacyjnych badań w odniesieniu do rzeczywistych układów złożonych z przemysłowych elementów piezoelektrycznych.

Rozdział siódmy „Wnioski i uwagi końcowe” zawiera podsumowanie opisanych w rozprawie metodyki i wyników badań symulacyjnych i eksperymentalnych układów

piezoelektrycznych. Wskazano na poprawność założonej tezy badawczej oraz przedstawiono obszary dalszego rozwoju w ramach poruszanej tematyki badawczej.

Na zakończenie umieszczono zestawienie literatury stanowiącej bazę wiedzy z zakresu rozważanej w rozprawie tematyki.

W uzupełnieniu opisu treści rozprawy należy dodać, że do elektronicznej wersji pracy, którą otrzymałem na pendrivie, dołączono wymienione w rozprawie załączniki, które obejmują:

- algorytmy realizujące obliczenia na podstawie metody macierzowej oraz metody liczb strukturalnych - załącznik 1,
- aplikację oraz jej kod źródłowy programu opisanego w rozdziale piątym – załącznik 2,
- algorytm do wspomagania badań eksperymentalnych opisanych w rozdziale szóstym - załącznik 3.

Załączniki te dają możliwość poznania ich zawartości i stanowią dowód zrealizowania ważnej części rozprawy, a ponadto dają możliwość kontynuacji badań lub realizacji innych w odniesieniu do innych konfiguracji podobnego typu układów. Źródłowa forma programów daje ponadto możliwość ich modyfikacji i rozwoju.

2. Ocena rozprawy

W kontekście opisu przedstawionego w punkcie pierwszym niniejszej recenzji można stwierdzić, że tematyka rozprawy doktorskiej obejmuje zagadnienia modelowania i badań symulacyjnych i eksperymentalnych drgań układów piezoelektrycznych. Opisano istniejące i zaproponowano własne metody syntezy piezoelektrycznych układów kaskadowych, reprezentujących rzeczywiste układy piezoelektryczne, na bazie wejściowych danych w postaci zbioru częstotliwości rezonansowych oraz informacji o parametrach dobieranych płytek piezoelektrycznych. Zaproponowana metoda pozwala na opracowanie dowolnego modelu układu piezoelektrycznego złożonego z płytek o różnych wymiarach bądź różnych właściwościach materiałowych. W pracy opisano także zaproponowaną autorską metodę analizy układów mechanicznych lub elektrycznych w oparciu o nieklasyczną metodę liczb strukturalnych. Dokładność analizy przeprowadzonej nową metodą oceniono na bazie porównania uzyskanych na bazie zaproponowanej metody z wynikami analizy uzyskanymi klasyczną metodą, bazującą na macierzowej reprezentacji równań ruchu układu. W odniesieniu do części modeli dokonano ich walidacji oraz oceniono dokładność uzyskiwanych wyników na podstawie wyników badań eksperymentalnych zrealizowanych w ramach pracy doktorskiej. Wykazano rozbieżności, ale w odniesieniu do części zaproponowanych modeli stwierdzono także dobrą zgodność i przydatność w prowadzeniu badań symulacyjnych podobnych do rozważanych w pracy układów.

Wybór tak określonej tematyki badawczej, uzupełnionej także w cytowanej przez Autora literaturze, jako przedmiot rozprawy doktorskiej, uważam za w pełni uzasadniony i ponadto stwierdzam, że Autor swoją rozprawą zrealizował w pełni sformułowane w pracy cele i zakres oraz wykazał prawdziwość postawionej tezy. Zakres zrealizowanych badań naukowych oraz uzyskane i opisane w rozprawie doktorskiej wyniki i wnioski należy uznać jako potwierdzenie użyteczności i poprawności zaproponowanych rozwiązań. Zaproponowaną metodykę badawczą, opracowane stanowiska badawcze oraz programy obliczeniowe należy uznać, jako istotne osiągnięcia Autora w zakresie badań elementów piezoelektrycznych, co może prowadzić do

zwiększenia zakresu zastosowań układów piezoelektrycznych w przemyśle motoryzacyjnym, automatyce przemysłowej i innych zastosowaniach przemysłowych.

Do najważniejszych osiągnięć zrealizowanej rozprawy doktorskiej należy zaliczyć:

- opracowanie metod syntezy i analizy układów piezoelektrycznych złożonych z modułów o różnych parametrach geometrycznych i właściwościach materiałowych, w tym metody nieklasycznej, bazującej na grafach oraz algebrze liczb strukturalnych,
- opracowanie programów obliczeniowych na bazie zaproponowanych modeli oraz realizacja badań symulacyjnych na bazie tych programów oraz badań eksperymentalnych w odniesieniu do wybranych układów piezoelektrycznych, co stanowiło podstawę oceny użyteczności, efektywności i dokładności zaproponowanych metod analizy i syntezy,
- adaptacja i modyfikacja stanowisk badawczych adekwatnych do przedmiotu badań oraz realizacja badań eksperymentalnych w kontekście postawionych tez badawczych oraz walidacji i weryfikacji zaproponowanych modeli i programów obliczeniowych,
- zbudowanie stanowiska laboratoryjnego do badania zachowania płytek piezoelektrycznych oraz ich stosów wzbudzanych napięciem elektrycznym o stałej amplitudzie oraz zmiennej częstotliwości oraz realizacja badań w odniesieniu do wybranych konfiguracji konstrukcyjnych elementów piezoelektrycznych o różnych parametrach geometrycznych.

Oceniając formę pracy chciałbym stwierdzić, że praca jest napisana starannie i przejrzysto. Zawiera wiele ilustracji graficznych, w tym schematów i rysunków, które ułatwiają zrozumienie przyjętych założeń upraszczających i celu badań oraz właściwą interpretację prezentowanych wyników badań symulacyjnych i eksperymentalnych. Można zauważyć także pewne usterki, z których najbardziej istotne wymieniłem w dalszej części niniejszej recenzji, jako uwagi szczegółowe.

Podsumowując oceniam rozprawę jednoznacznie pozytywnie, mimo uwag, które zawarte są w kolejnym rozdziale niniejszej recenzji.

3. Uwagi szczegółowe, w tym krytyczne

Do najbardziej istotnych zastrzeżeń, przede wszystkim w odniesieniu do formy pracy, na które chciałbym zwrócić uwagę Autora zaliczam następujące:

- W pracy nie umieszczono streszczenia w języku angielskim, a streszczenie w języku polskim zatytułowano „Abstrakt”, przy czym takie streszczenie dołączono w wersji elektronicznej na pendrivie, który zawierał także rozprawę i inne pliki ją uzupełniające,
- W treści pracy powołano się na trzy załączniki, które nie zostały zamieszczone jako integralna jej część. Zatem powoływanie się na takie załączniki w treści wydrukowanej rozprawy, bez ich dołączenia do treści pracy uniemożliwia czytelnikowi zapoznanie się treścią wymienianych załączników. Jako recenzent otrzymałem w wersji elektronicznej te załączniki na pendrivie.
- W spisie treści pominięto rozdział 8: „*Bibliografia*”, a strony, które stanowią tę część pracy nie zostały ponumerowane.

- Na str. 111 i 112 zamieszczono dwukrotnie ten sam fragment pracy rozpoczynający się od zdania: „*Pierwszym, a zarazem głównym oknem, jakie wyświetlane jest po uruchomieniu programu jest okno zawierające interfejs wyboru metody syntezy.*”, a kończący zdaniem: „*Widok głównego okna programu do syntezy parametrów piezoelektrycznych przedstawiono na rysunku 5.3.*”
- W pracy można zauważyć wiele potocznych, nieprecyzyjnych lub dwuznacznych określeń czy tzw. skrótów myślowych, z których jako przykładowe można wymienić:
 - str. 16 – w zdaniu: „*Jednym z celów proponowanych alternatyw jest redukcja ...*”, lub w zdaniu: „*Autorzy dokonują również przeglądu dostępnych obecnie alternatyw w postaci kompozytów ceramicznych ...*” użyto wyrazu : „*alternatywa*”, który w tych zdaniach oznacza „*alternatywne rozwiązania*” lub „*alternatywne materiały*”, podobnie str. 28 – w zdaniu: „*Prostą alternatywą pozwalającą na zwiększenie generowanego przemieszczenia ...*”, przy czym w innych fragmentach pracy można spotkać także właściwe użycie podobnych zwrotów,
 - str. 25 – w zdaniu: „*Rozwój teorii sterowania umożliwił natomiast bardziej precyzyjną kontrolę układów piezoelektrycznych przez liczne próby matematycznego modelowania efektu piezoelektrycznego*”, co może być interpretowane, że samo matematyczne modelowanie jest elementem kontroli układów piezoelektrycznych, a w rzeczywistości może to być realizowane za pomocą odpowiednich elementów sterujących w takich układach,
- tekst zawiera także błędy tzw. literówki lub inne (błędnie napisane fragmenty podkreśliłem) np.:
 - str. 18 – w zdaniu: „*...inne podejście do analizy układów piezoelektrycznych, stotsując w tym celu ...*”,
 - str. 32 – w zdaniu: „*Dwie ustandaryzowane postaci układu równań konstytutywnych ...*” zamiast „*Dwie ustandaryzowane postacie układu równań konstytutywnych ...*”, pozostawiając w odniesieniu do osób zastosowaną odmianę wyrazu „*postać*”, podobnie: str. 93 – w zdaniu: „*... wyznaczano ostateczne postaci wzorów ...*”,
 - str. 91 – w zdaniu: „*... algorytmami przygotowanymi na bazie dwie rozważanych w pracy metod ...*”,
 - str. 122 – w zdaniu: „*... zamieszczono opcje umożliwiające konfigurację ...*”,
 - str. 180 – w zdaniu: „*... autorzy zwracają uwagę na ograniczenia modelów o parametrach skupionych ...*”, podobnie str. 182 – w zdaniu: „*... weryfikacji modelów matematycznych ...*”
- ponadto w kilku zauważonych miejscach rozprawy, użyto strony czynnej zamiast biernej np. str. 55 – w zdaniu: „*Niniejsza praca podejmuje tematykę ...*” zamiast „*W niniejszej pracy podjęto tematykę ...*”,

W celu lepszego wyjaśnienia i uzupełnienia treści merytorycznej przedstawionej w ocenianej rozprawie chciałbym postawić Autorowi następujące pytania:

- na stronie 12 jest zdanie: „*Analiza matematyczna pozwala na teoretyczną weryfikację funkcjonalności utworzonego modelu matematycznego.*”. Proszę o rozwinięcie tego zdania wskazując na czym polega ta „*teoretyczna weryfikacja funkcjonalności*”, w odniesieniu do jednego z opisanych w rozprawie modeli matematycznych i obliczeniowych,

- w treści pracy powołano się na trzy załączniki, które nie zostały zamieszczone jako integralna jej część. Zatem proszę o krótką charakterystykę zawartości tych załączników, szczególnie w kontekście użyteczności opracowanych aplikacji komputerowych oraz możliwości ich modyfikacji i rozwoju.

4. Wniosek końcowy

Opisane w ocenianej rozprawie doktorskiej dokonania obejmują zagadnienia związane z rozwojem modeli matematycznych oraz metod badań symulacyjnych i eksperymentalnych w odniesieniu do wybranej klasy układów piezoelektrycznych. W tym kontekście zaprezentowano w pracy autorskie metody syntezy i analizy układów piezoelektrycznych złożonych z modułów o różnych parametrach geometrycznych i właściwościach materiałowych, w tym metody bazującej na grafach oraz algebrze liczb strukturalnych. W odniesieniu do wybranych konfiguracji konstrukcyjnych i parametrów układów piezoelektrycznych zrealizowano badania symulacyjne oraz badania eksperymentalne, których wyniki opisano w rozprawie. Wyniki tych badań stanowiły podstawę oceny użyteczności, efektywności i dokładności zaproponowanych metod analizy i syntezy. Należy podkreślić, że poprzez porównanie wyników badań symulacyjnych z wynikami eksperymentalnymi wykazano w części zaproponowanych metod zarówno ich satysfakcjonującą użyteczność, jak i wystarczającą dokładność odwzorowania badanych zjawisk. Należy dodać, że zostały także opracowane lub zmodyfikowane odpowiednie stanowiska badawcze, które umożliwiły realizację badań eksperymentalnych, których wyniki stanowiły zarówno podstawę identyfikacji parametrów rozważanych układów, jak również umożliwiły walidację i weryfikację zaproponowanych modeli teoretycznych.

Zrealizowane w ramach pracy zadania, z twórczym udziałem jej Autora, można uznać jako dowód szerokiej wiedzy i wartościowych osiągnięć jej Autora w zakresie dyscypliny inżynieria mechaniczna w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych. W szczególności dotyczy to wiedzy i innych kompetencji koniecznych do opracowania modeli matematycznych i obliczeniowych oraz realizacji badań symulacyjnych, a także w zakresie projektowania i wykonania stanowisk badawczych, adekwatnych w kontekście podjętej tematyki badawczej. Opisane w rozprawie wyniki badań potwierdzają użyteczność i w dużej części satysfakcjonującą dokładność zaproponowanych metod badawczych, co może być przesłanką do zastosowania tej metodyki także w odniesieniu do innych obiektów.

Uważam, że opiniowana rozprawa doktorska pt. „Synteza i analiza złożonych układów piezoelektrycznych z uwzględnieniem metod klasycznych i nieklasycznych” stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowo-inżynierskiego i spełnia w wystarczającym stopniu warunki stawiane rozprawom doktorskim. Stanowi zatem podstawę do dopuszczenia jej Autora do publicznej obrony tej rozprawy, a po pozytywnym zakończeniu obrony do nadania mgr. inż. Jackowi Harazinowi stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria mechaniczna.

Częstochowa, 6 czerwca 2024 r.