

prof. dr hab. inż. Krzysztof Górecki
Katedra Energoelektroniki
Wydział Elektryczny
Uniwersytet Morski w Gdyni

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Damiana Trofimowicza nt. „Zastosowania pochodnych ułamkowych w
elektromagnetyzmie i teorii obwodów”

1. Uwagi ogólne

Niniejsza recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Damiana Trofimowicza została przygotowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Gdańskiej. Rozprawa ta dotyczy badania przydatności pochodnych ułamkowych do opisu właściwości elementów i układów elektronicznych oraz pól elektromagnetycznych. Jej tematyka mieści się w dyscyplinie naukowej Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Doktorant przedstawił w ocenianej rozprawie wyniki swoich badań stanowiących istotne przyczynki w zakresie metod analizy obwodów elektrycznych, metod opisu pól elektromagnetycznych oraz biernych elementów elektronicznych. Doktorant wniósł też wkład w rozwój metod numerycznych użytecznych do obliczeń inżynierskich.

Oceniana praca zawiera wyniki badań dotyczących analizy przydatności koncepcji pochodnych ułamkowych do opisu zjawisk fizycznych zachodzących w obwodach elektrycznych oraz pól elektromagnetycznych w różnych ośrodkach. Doktorant przeanalizował liczne definicje takich pochodnych i wskazał ograniczenia rozważanych definicji oraz potencjalne problemy obliczeniowe związane z praktycznym zastosowaniem tych definicji przy opisie właściwości takich obwodów lub pól. Wykazał, że zastosowanie definicji Marchaud pozwala uniknąć sprzeczności z podstawowymi zasadami analizy systemów elektromagnetycznych oraz obwodów elektrycznych. Wskazał też zakres rzędu pochodnej ułamkowej, przy której definicje Marchaud oraz Grunwalda-Letnikova są zgodne i zaproponował nowe metody symulacji pól elektromagnetycznych wykorzystujące te definicje. Poruszane w pracy zagadnienia są ważne z punktu widzenia metod analizy obwodów elektrycznych i pól elektromagnetycznych.

Tematyka podjęta w ocenianej pracy doktorskiej jest aktualna i ważna, a częściowe problemy rozważane przez Doktoranta są również poruszane w licznych pracach innych autorów, opublikowanych w kilkunastu ostatnich latach. Dowodzi to trafnego wyboru zagadnienia badawczego.

Doktorant wykazał, że rozważane w pracy pochodne ułamkowe mogą być efektywnym narzędziem analizy właściwości obwodów elektrycznych oraz pól elektromagnetycznych. Przedstawione w rozprawie wyniki badań dowodzą wysokich kompetencji Doktoranta w zakresie analizy matematycznej, metod numerycznych, teorii obwodów, teorii pól elektromagnetycznych oraz planowania i realizacji badań naukowych.

2. Ocena merytoryczna pracy

Praca liczy łącznie 96 stron i zawiera 5 rozdziałów, wykaz cytowanej literatury, a także spis treści, wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów, streszczenia w języku polskim i angielskim, wykaz rysunków i wykaz tabel, dodatek, oświadczenie doktoranta i opis rozprawy doktorskiej oraz podziękowania.

W rozdziale pierwszym Autor zdefiniował obszar badań, których dotyczy oceniana rozprawa, uzasadnił podjęcie tematu badań oraz sformułował cel naukowy badań i tezę rozprawy. W pierwszej części tego rozdziału Doktorant przedstawił ogólne definicje pochodnych rzędu naturalnego i ułamkowego. Opisał dokonania innych badaczy w zakresie zastosowania pochodnych ułamkowych w teorii sterowania i analizie obrazów. Przedmiotem badań są pochodne ułamkowe w dziedzinie czasu i możliwości ich zastosowania w teorii obwodów i teorii pola elektromagnetycznego. Doktorant sformułował następującą tezę: „Zastosowanie pochodnej ułamkowej w dziedzinie czasu opartej o definicję Marchaud zapewnia poprawność modelowania matematycznego systemów elektromagnetycznych i obwodów elektrycznych ułamkowego rzędu”. Doktorant podał plan badań, które przeprowadził w celu wykazania sformułowanej tezy.

Rozdział drugi opisuje informacje literaturowe na temat pochodnych ułamkowego rzędu. Autor podał rys historyczny rozwoju tego obszaru wiedzy wskazując na wkład poszczególnych naukowców w ten rozwój. Następnie przytoczył definicje pochodnych ułamkowego rzędu przygotowane przez różnych autorów i przeanalizował możliwość ich zastosowania analizie obwodów elektrycznych lub pól elektromagnetycznych. Wskazał przy tym warunki, jakie muszą być spełnione, aby poszczególne definicje mogły znaleźć zastosowanie w elektrotechnice. Rozważano 7 definicji pochodnych ułamkowych opisanych w literaturze.

Rozdział 3 zawiera opis zastosowania pochodnej ułamkowej według definicji Marchaud w teorii obwodów i teorii pola elektromagnetycznego. W szczególności przedstawiono równania Maxwella dla ośrodków opisanych przez modele rzędu całkowitego oraz ułamkowego. Sformułowano równania opisujące właściwości takich komponentów układów elektronicznych jak rezystory, kondensatory i induktory oraz ich modele skupione ułamkowego rzędu. Zaproponowano także model linii transmisyjnej ułamkowego rzędu i sformułowano równanie telegrafistów ułamkowego rzędu.

Rozdział 4 prezentuje autorskie metody rozwiązywania problemów z zakresu teorii obwodów i pól elektromagnetycznych opisanych równaniami różniczkowo-całkowymi ułamkowego rzędu. Doktorant opisał metodę rozwiązywania równań linii transmisyjnej oraz metody rozwiązywania równań opisujących propagację fal elektromagnetycznych w ośrodkach, których właściwości opisano przy wykorzystaniu równań różniczkowych ułamkowego rzędu. Przedstawione zostały wyniki symulacji wykonanych przy wykorzystaniu zaproponowanych metod obliczeniowych oraz metod referencyjnych. Uzyskano bardzo dobrą zgodność między tymi wynikami. Dla wybranych spośród metod obliczeniowych sformułowano warunek stabilności. Rozważania teoretyczne zilustrowano wynikami obliczeń.

Rozdział 5 stanowi podsumowanie pracy. Zawiera on najważniejsze wnioski z pracy. Doktorant wymienił swoje najważniejsze osiągnięcia naukowe opisane w poszczególnych rozdziałach rozprawy. Stwierdził też, że teza rozprawy została udowodniona

Wykaz literatury zawiera łącznie 107 pozycji, w tym 8 prac, których współautorem jest Doktorant. Cytowane prace są w większości wydane w ostatnich 15 latach, a zatem są one aktualne. Doktorant cytuje także klasyczne prace z zakresu tematycznego rozprawy, które pochodzą z XIX i XX wieku. Dobór cytowanych prac świadczy o dobrej orientacji Doktoranta w klasycznej i współczesnej wiedzy z zakresu analizy matematycznej, metod numerycznych, teorii obwodów, teorii pola elektromagnetycznego oraz równań różniczkowo-całkowych ułamkowego rzędu w zastosowaniach typowych dla elektrotechniki.

3. Uwagi ogólne

Praca jest napisana w języku polskim, w sposób na ogół zrozumiały. Jest ona zredagowana starannie i zawiera tylko drobne błędy redakcyjne. Autor zadbał o wyjaśnienie używanych skrótów i prawidłowo dobrał kolejność prezentowanych zagadnień. Zamieszczone w pracy rysunki i tabele są dobrze dobrane i ułatwiają zrozumienie zagadnień poruszanych przez Autora.

W pracy przedstawiono wyniki badań Autora dotyczące metod analizy obwodów elektrycznych i pól elektromagnetycznych przy zastosowaniu pochodnych rzędu ułamkowego. Przedstawione zostały podstawy teoretyczne niezbędne do opracowania oryginalnych metod obliczeniowych. Zaproponowane zostały oryginalne metody obliczeniowe. Przetestowano praktyczną użyteczność tych metod w odniesieniu do obwodów RLC charakteryzowanych przez układy równań różniczkowo-całkowych ułamkowego rzędu, linii transmisyjnych oraz pól elektromagnetycznych w ośrodkach opisanych równaniami konstytutywnymi ułamkowego rzędu. Obliczenia wykonane przy wykorzystaniu metod autorskich zostały porównane z wynikami obliczeń wykonanych za pomocą metod referencyjnych. We wszystkich prezentowanych przypadkach uzyskano bardzo dobrą zgodność między wynikami obliczeń uzyskanych za pomocą rozważanych metod. W ten sposób wykazano, że zaproponowane narzędzie może być z powodzeniem stosowane do rozwiązywania problemów inżynierskich typowych dla elektrotechniki i systemów łączności.

Do najważniejszych osiągnięć naukowych Doktoranta, przedstawionych w recenzowanej rozprawie, można zaliczyć:

- Sformułowanie warunków stosowalności pochodnej ułamkowego rzędu wg definicji Marchaud do rozwiązywania problemów z zakresu elektromagnetyzmu i teorii obwodów;
- Sformułowanie rozwiązania analitycznego równań Maxwella w czasie ciągłym opartego na macierzach przejść stanów dla propagacji fal elektromagnetycznych w ośrodkach opisanych przez konstytutywne równania z pochodnymi czasowymi ułamkowego rzędu;
- Zdefiniowanie zestawu dopuszczalnych uproszczeń funkcji macierzy Mittag-Lefflera, które skutecznie ułatwiają symulacje komputerowe systemów opisanych macierzami o dużych rozmiarach;
- Przeprowadzenie symulacji numerycznych propagacji fali w ośrodkach opisanych przez modele ułamkowego rzędu oraz weryfikacja stabilności metody obliczeniowej;
- Implementacja metody różnic skończonych Cranka-Nicolsona do rozwiązywania równań Maxwella dla mediów opisanych przez równania konstytutywne z pochodnymi czasowymi ułamkowego rzędu.

Osiągnięcia te dowodzą, że Doktorant opanował umiejętność formułowania problemów badawczych i ich rozwiązywania przy zastosowaniu nowoczesnych metod naukowych.

Oceniana rozprawa dowodzi, że Doktorant opanował zaawansowaną wiedzę z zakresu metod matematycznych w zastosowaniu do opisu właściwości obwodów elektrycznych i pól elektromagnetycznych oraz potrafi twórczo ją wzbogacać.

Podczas lektury tej interesującej pracy nasunęło mi się kilka uwag:

- a) Warto wskazać przykłady praktycznych układów, które wymagają opisu ich właściwości przy wykorzystaniu pochodnych ułamkowego rzędu.
- b) Czy można wskazać przykłady obwodów, które w pewnym zakresie częstotliwości mogą być poprawnie opisane przy wykorzystaniu klasycznych równań z pochodnymi pierwszego rzędu, ale w szerokim zakresie częstotliwości wymagają zastosowania w takim opisie pochodnych ułamkowego rzędu?
- c) Czy można wskazać ośrodki, które wymagają do opisu pól elektromagnetycznych zastosowania pochodnych rzędu ułamkowego?
- d) Jak duże rozbieżności między wynikami obliczeń uzyska się, gdy do opisu wybranego układu elektrycznego wykorzysta się czasowe pochodne pierwszego rzędu zamiast pochodnych rzędu ułamkowego?
- e) Czy Doktorant próbował przeprowadzić weryfikację doświadczalną uzyskiwanych wyników obliczeń na drodze pomiarowej?

Uwagi powyższe mają charakter dyskusyjny i w żadnym stopniu nie obniżają pozytywnej oceny pracy.

4. Uwagi szczegółowe

Oceniana praca jest zredagowana starannie, ale Autor nie ustrzegł się drobnych uchybień, które jednak nie wpływają w istotny sposób na jednoznacznie pozytywną ocenę pracy. Wybrane z tych uchybień zebrano poniżej.

- a) Na stronie 13 u góry pojawia się niezręczne sformułowanie „zdrowych lub chorych przebiegów EKG”.
- b) Symbole występujące we wzorach są objaśniane wielokrotnie, np. symbol funkcji Gamma. Wystarczy objaśnić go, gdy po raz pierwszy symbol pojawia się w tekście.
- c) Część wzorów nie jest numerowana, np. na stronie 27, 33, 35, 52, 53.
- d) Na stronie 29 symbol M jest objaśniony jako gęstość prądu magnetycznego. Lepiej używać określenia magnetyzacja.
- e) Na stronie 30 używa Doktorant pojęcia przewodność magnetyczna. Lepiej używać pojęcia permeancja.

- f) Element elektroniczny nazywany cewką lepiej określać induktorem (analogicznie do rezystora i kondensatora).
- g) Na stronie 60 występuje odwołanie do wzorów (1) i (2), których nie ma w zasadniczym tekście pracy.
- h) W pracy brakuje informacji o zastosowanym do obliczeń programie komputerowym. Czy jest to Matlab?
- i) Na 61 jest mowa o wynikach referencyjnych, ale nie znalazłem informacji o tym, jak one zostały uzyskane.
- j) W wykazie literatury kolejność prac powinna być alfabetyczna. Dla części prac nie podano pełnych danych bibliograficznych, np. prace [25], [30], [42], [70], [72], [84], [85], [86], [87].

5. Wniosek końcowy

Oceniana praca zawiera oryginalne i wartościowe wyniki stanowiące istotny wkład Doktoranta w badania właściwości pochodnych rzędu ułamkowego w zastosowaniu do rozwiązywania problemów z zakresu teorii obwodów i teorii pola elektromagnetycznego. Doktorant samodzielnie rozwiązał ważne zagadnienie badawcze z zakresu dyscypliny naukowej Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne oraz wykazał się znajomością aktualnej literatury naukowej w zakresie tematyki pracy. Przedstawione wyniki badań dowodzą wysokich kompetencji merytorycznych Doktoranta oraz Jego przygotowania do prowadzenia badań naukowych.

Uwagi sformułowane w punkcie 3 mają charakter dyskusyjny i wymagają ustosunkowania się do nich Doktoranta w czasie obrony.

W mojej opinii praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy prawa. W związku z tym zgłaszam wniosek do Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Gdańskiej o dopuszczenie mgr inż. Damiana Trofimowicza do publicznej obrony.

G. Recki



85131292

Ankieta dla celów statystyczno-analitycznych

Recenzent: prof. dr hab. inż. Krzysztof Górecki

Autor rozprawy: mgr inż. Damian Trofimowicz

Tytuł rozprawy: "Zastosowania Pochodnych Ułamkowych w Elektromagnetyzmie i Teorii Obwodów"

Promotorzy:

1. dr hab. inż. Tomasz Stefański, profesor uczelni (promotor)

	tak	nie	1/
1. Czy teza rozprawy jest dobrze sformułowana?	☒	☐	☐
2. Czy tematyka rozprawy jest aktualna lub dostatecznie ważna?	☒	☐	☐
3. Czy wyniki są nowe na tle stanu dyscypliny, której rozprawa dotyczy?	☒	☐	☐
4. Czy rozprawa świadczy o tym, że autor posiadał:			
a) wiedzę na zaawansowanym poziomie?	☒	☐	☐
b) umiejętności związane z metodyką i metodologią prowadzenia badań naukowych?	☒	☐	☐
5. Jaki charakter ma rozprawa ^{2/}			
teoretyczny:	☒		
doświadczalny:	☐		
konstrukcyjny:	☐		
technologiczny:	☐		
6. Czy wyniki analityczne były weryfikowane?	☒	☐	☐
7. Czy wyniki pracy nadają się do bezpośredniego zastosowania w praktyce?	☒	☐	☐
8. Czy rozprawa zawiera błędy merytoryczne?	☐	☒	☐
9. Czy rozprawa jest poprawna pod względem językowym i redakcyjnym?	☒	☐	☐
10. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:			
a) niespełniająca wymagań,	☐		
b) wymagająca wprowadzenia poprawek,	☐		
c) zadowalająco spełniająca wymagania,	☒		
d) wyraźnie wykraczająca ponad poziom przeciętny,	☐		
e) wybitna.	☐		

2026-07-06
data

.....Górecki
podpis

1/ częściowo

2/ w przypadku charakteru mieszanego zaznaczyć jednocześnie kilka pozycji