

Prof. dr hab. inż. Krzysztof Latawiec
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
Politechniki Opolskiej

Opole, 2019-08-13.



**KWESTIONARIUSZ - RECENZJA
ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
DLA RADY WYDZIAŁU ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI,
INFORMATYKI I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ
AKADEMII GÓRNICZO-HUTNICZEJ W KRAKOWIE**

Tytuł rozprawy:

"Implementacja układów niecałkowitego rzędu w systemach wbudowanych"

Rok wydania rozprawy: **2019.**

Autor rozprawy:

Mgr inż. Waldemar Bauer

1. **Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy (teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?**

W pracy rozpatrzono istotny problem efektywnej aproksymacji/modelowania układów opisywanych równaniami różniczkowymi niecałkowitego rzędu (zwanymi tu krótko układami frakcyjnymi) oraz implementacji dyskretnych modeli tych układów w systemach wbudowanych. Rozważane w pracy układy frakcyjne obejmują różnorodne filtry frakcyjne oraz w szczególności frakcyjne regulatory $PI^{\alpha}D^{\mu}$, gdzie α i μ są niecałkowitymi rzędami odpowiednio akcji całkującej i różniczkującej regulatora frakcyjnego. Doktorant podjął bardzo ambitne wyzwanie zarówno w sensie naukowym, jak też wdrożeniowym: zamodelować, zasymulować, zaimplementować i przeanalizować działanie układów frakcyjnych w cyfrowych systemach czasu rzeczywistego. Rozwiązując przedstawiony, złożony problem naukowo-wdrożeniowy sformułowano następującą (być może dość lakoniczną) tezę pracy: „Możliwe jest zdefiniowanie postaci aproksymacji układów niecałkowitego rzędu, którą po dyskretyzacji będzie można zaimplementować w układach wbudowanych, w szczególności pracujących w czasie rzeczywistym”. Należy podkreślić wagę naukową i implementacyjną zadania badawczego postawionego jasno przez Autora w postaci tej tezy.

Rozprawa ma kompletny charakter teoretyczno-symulacyjno-implementacyjny, w szczególności dotyczący frakcyjnego modelowania i sterowania procesowego w oparciu o systemy wbudowane czasu rzeczywistego. Solidna podbudowa teoretyczna pracy jest związana z nowoczesnymi narzędziami matematycznymi do modelowania układów frakcyjnych. Z drugiej strony, opracowane przez Autora i przebadane algorytmy frakcyjnego sterowania PID,

zaimplementowane w układach wbudowanych, mogą stanowić solidną podstawę do przyszłej implementacji zaproponowanych algorytmów w pełnej skali przemysłowej.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle) świadczącą o dostatecznej wiedzy autora? Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Motywacja dla podjęcia tematu rozprawy wynikała z przykładowo przeprowadzonej przez Autora analizy literatury przedmiotu. Dzięki erudycji i odczytaniu Autora odzwierciedlony został w pełni aktualny stan wiedzy na temat teorii i zastosowań modelowania i sterowania frakcyjnego złożonymi obiektami dynamicznymi. Przeprowadzona analiza źródeł świadczy o głębokiej wiedzy Autora, zaś sformułowane w sposób jasny i przekonujący wnioski z tej analizy przywiodły Autora do sprecyzowania tematu i tezy rozprawy, które wychodzą naprzeciw rzeczywistemu zapotrzebowaniu 'na rynku' modelowania i sterowania układów frakcyjnych.

3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Autor w pełni rozwiązał postawione w tezie rozprawy zadania. Zastosowana, poprawna metodologia sprowadzała się do 1) analizy dostępnych w literaturze modeli układów frakcyjnych, w szczególności opracowanych w oparciu o metodologię Oustaloupa, 2) zaproponowania nowych wersji modeli Oustaloupa, 3) przeprowadzenia badań symulacyjnych i implementacyjnych modeli, 4) zaproponowania nowych wersji algorytmów sterowania frakcyjnego $PI^{\alpha}D^{\mu}$, 5) przeprowadzenia badań symulacyjnych przedstawionych algorytmów oraz 6) pozytywnej weryfikacji oferowanych modeli i algorytmów sterowania w systemach wbudowanych współpracujących z laboratoryjnym systemem nagrzewnicy powietrznej i laboratoryjnym systemem lewitacji magnetycznej. Taka metodologia postępowania jest, zdaniem niżej podpisanego, wzorcowa i okazała się efektywna. Także przyjęte założenia są uzasadnione i uwzględniają własności środowiska przemysłowego badanych obiektów sterowania.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Rozwiązując postawione w tezie pracy zadania Autor uzyskał cały szereg nowych rezultatów, stanowiących samodzielny, oryginalny dorobek Doktoranta. Główne rezultaty teoretyczne pracy zawarto w rozdziałach drugim i trzecim, zaś oryginalny, bogaty dorobek aplikacyjny przedstawiono w rozdziałach piątym i szóstym. W Podsumowaniu w rozdziale siódmym zawarto szczegółowy wykaz licznych, oryginalnych osiągnięć pracy; niżej podpisany nie uważa za stosowne przepisywanie tych, niewątpliwie cennych elementów dorobku naukowego Doktoranta. Warto tu podkreślić, że Autor wykazuje się wysokim współczynnikiem Hirscha ($h=7$), który stanowi dodatkową ilustrację osiągnięć naukowych Doktoranta, głównie tych zawartych

w opiniowanej rozprawie.

Uzyskane rezultaty teoretyczne i praktyczne pracy upoważniają do stwierdzenia o wysokiej pozycji rozprawy w relacji do stanu wiedzy i poziomu techniki w skali zarówno krajowej, jak i światowej. Rozprawa Autora udanie wpisała się w nurt badań międzynarodowych w zakresie modelowania i frakcyjnego sterowania w środowisku systemów wbudowanych, zaś jej osiągnięcia stawiają ją w pozycji równorzędnej do stanu wiedzy reprezentowanej w wiodącej literaturze przedmiotu.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?

Autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawiania uzyskanych przez siebie wyników. Styl prezentacji jest jasny i zwięzły, także formalna, redakcyjna strona rozprawy jest poprawna; oceny tej nie podważają nieliczne usterki formalne i typograficzne, przedyskutowane z Autorem pracy.

6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Zdaniem niżej podpisanego, rozprawa nie ma żadnych istotnych wad merytorycznych. Można by jednak wspomnieć o pewnej usterce technicznej, która wymaga skomentowania w trakcie obrony pracy. Otóż przy całym uznaniu dla istotnego wkładu naukowego rozprawy, można by mieć wątpliwość odnośnie do zbyt lapidarnego, pobieżnego potraktowania treści rozprawy traktującej o dokładności statycznej regulacji $PI^{\alpha}D^{\mu}$, która nie jest regulacją astatyczną, tj. wykazuje błąd ustalony dla $\alpha < 1$. Wprawdzie Autor wskazuje, że interesują Go raczej aplikacje, gdzie ważna jest odporność sterowania, ale być może warto byłoby skomentować wspomnianą wadę regulacji $PI^{\alpha}D^{\mu}$.

Wymieniona tu usterka nie ma istotnego wpływu na wysoką ocenę ogólną osiągnięć rozprawy.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Oceniając przydatność rozprawy dla nauk technicznych, należy podkreślić istotne znaczenie dysponowania efektywnymi obliczeniowo algorytmami modelowania, symulacji i sterowania układami frakcyjnymi, w szczególności implementacji algorytmów sterowania w cyfrowych systemach wbudowanych czasu rzeczywistego. Wprowadzone w tym celu algorytmy stanowią nowość w skali nie tylko krajowej, lecz także - można tu zaryzykować takie stwierdzenie - światowej. Dlatego niżej podpisany uznaje wysoką przydatność rozprawy dla teorii i praktyki sterowania, w szczególności dla nauk technicznych. Rozprawa mieści się w dyscyplinie technicznej Automatyka i Robotyka.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

a/ nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy

b/ wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania

c/ spełniająca wymagania

d/ spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem

e/ wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

Reasumując, wyrażam głębokie przekonanie, że opiniowana praca nt. **"Implementacja układów niecałkowitego rzędu w systemach wbudowanych"** spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami) i wnioskuję o przyjęcie opiniowanej pracy jako rozprawy doktorskiej oraz o dopuszczenie mgra inż. **Waldemara Bauera** do jej publicznej obrony.



.....
podpis