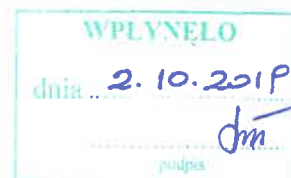


Białystok, 27.09.2019 r.

dr hab. Dorota Mozyrska, prof. nzw.

Wydział Informatyki
Politechnika Białostocka
ul. Wiejska 45A
15-351 Białystok
d.mozyrska@pb.edu.pl



Recenzja rozprawy doktorskiej dla Rady Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH

Tytuł rozprawy:

*„Implementacja układów niecałkowitego rzędu w systemach
wbudowanych”*

AUTOR ROZPRAWY: mgr inż. Waldemar Bauer

PROMOTOR ROZPRAWY: prof. dr. hab. inż. Wojciech Mitkowski

1. Zagadnienie naukowe rozprawy

Głównym celem przedłożonej rozprawy było przedstawienie efektów pracy badawczej autora rozprawy nad implementacją układów niecałkowitego rzędu w systemach wbudowanych. Na początku pracy autor formułuje tezę: „dotyczącą możliwości aproksymacji układów niecałkowitego rzędu które po dyskretyzacji będzie można zaimplementować w układach czasu rzeczywistego”. Sformułowanie tezy jest co prawda dość enigmatyczne, autor nie stawia konkretnego twierdzenia/hipotezy do zbadania, a

raczej informuje, iż tematyka rozprawy dotyczy przedstawienia wyników przeprowadzonych badań. Teza wymagałaby przeformułowania, co nie umniejsza zawartości merytorycznej osiągniętych rezultatów. W podsumowaniu rozprawy autor podaje wniosek wskazujący na uzasadnienie, o możliwości implementacji członów niecałkowitego rzędu w układach wbudowanych: „Opracowane przez autora metody i przeprowadzone eksperymenty dowodzą, że możliwe jest stabilnych numerycznie i odpornych na zakłócenia metod realizacji dynamicznych układów niecałkowitego rzędu na układy wbudowane. Jak pokazano systemy te nadają się, zarówno jako kontrolery jak i filtry.” Główna część dotycząca potwierdzenia wyciągniętych wniosków znajduje się w rozdziale 6 rozprawy: „Wykorzystanie ułamkowych regulatorów ułamkowych typu PID w sterowaniu rzeczywistymi obiektami”. Autor rozprawy przedstawia mechanizm rachunku niecałkowitego rzędu i jego implementację do sterowania typu PID-niecałkowitego rzędu do obiektów rzeczywistych z wykorzystaniem numerycznej implementacji na cyfrowe układy na kontrolerach Arduino, co wymaga wcześniejszej informacji dotyczącej cyfrowej realizacji układów niecałkowitego rzędu.

Uważam, że pomimo braku precyzji w sformułowaniu tezy rozprawy, omawiane zagadnienie naukowe zostało przedstawione przez autora wystarczająco dokładnie. Rozprawa poprzez zamieszczenie w niej wyników realizacji regulatorów PID niecałkowitego rzędu dla układów rzeczywistych ma charakter wysoce praktyczny. Wnioski poparte są analizą końcowych wyników ze zwróceniem uwagi na możliwości implementacji proponowanych metod.

2. Organizacja i redakcja rozprawy

W rozprawie przedstawiono skrupulatną i uporządkowaną analizę źródeł, przeglądu literatury światowej i stanu wiedzy z zakresu cyfrowej realizacji układów niecałkowitego rzędu, układów wbudowanych i częściowo regulatorów typu PID. Można stwierdzić, iż wnioski i postawiona teza wynikają z dokonania właściwego przeglądu źródeł i zostały postawione w sposób jasny i przekonujący. Sam tekst pracy został napisany dość nieuważnie, z licznymi błędami literowymi, składni oraz niepoprawną interpunkcją. W szczególności rozdział „Wstęp matematyczny” wymagałby przeredagowania, poprawy po kątem poprawności nazw i ścisłości definicji. Niepoprawne użycie nazwy „różniczka” jest szczególnym elementem do poprawy. W pracy używa się zamiennie nazwy „układy ułamkowego rzędu” lub „układy niecałkowitego rzędu”, nazwa powinna być użyta jednolicie. Pojawiają się błędy w pisowni nazwisk małą literą. Autor rozprawy nie dba o rozróżnienie, której definicji ciągłej pochodnej używa, W opisach rysunków nie podano źródeł, czyli należy uznać, iż są to opracowania własne. Szkoda, że część wykresów

porównawczych przebiegów jest w kolorze czarnym i trudno cokolwiek wtedy porównać. W pracy poświęcono sporo miejsca na informacje techniczne dotyczące systemów czasu rzeczywistego. W pracy brak dokładnego opisu implementacji, kodów źródłowych użytych w Arduino, informacji o użytych skryptach lub funkcjach Matlaba. Część redakcyjna wymagałaby poprawy. Co nie umniejsza samych wyników pracy.

3. Ocena merytoryczna w tym ocena oryginalności rozprawy

Autor rozprawy rozwiązał postawione zagadnienie używając do tego właściwych metod badawczych, rozwijając dwie nowe metody aproksymacji członów niecałkowitego rzędu oparte na metodzie Oustaloupa. Za samodzielny i oryginalny dorobek autora należy uznać: opracowanie dwóch metod aproksymacji elementu $s\alpha$ opartej na metodzie Oustaloupa, podanie stabilnych numerycznie metod dyskretyzacji dla opracowanych metody dyskretyzacji, implementacja w Matlabie metod do symulacji i wyliczania postaci aproksymacji testowanych układów ciągłych i dyskretnych, implementacja i przeprowadzenie testów odporności numerycznej członów dynamicznych niecałkowitego rzędu na Arduino Uno, implementacja i przeprowadzenie testów odporności numerycznej członów dynamicznych niecałkowitego rzędu na mikroprocesorze STM32, opracowanie i implementacja regulatora ułamkowego PID dla laboratoryjnego systemu nagrzewnicy powietrznej z opóźnieniem, opracowanie i implementacja regulatora typu PID niecałkowitego rzędu dla laboratoryjnego systemu lewitacji magnetycznej, porównanie implementacji czasowej aproksymacji Oustaloupa w dwóch wariantach: niskiego rzędu oraz zredukowanej z wysokiego rzędu aproksymacji. Wyniki potwierdzono na laboratoryjnym systemie lewitacji magnetycznej.

Sposób konstrukcji rozprawy (pomimo błędów edycyjnych w tekście rozprawy i nieprecyzyjnej części matematycznej), opracowanie wyników, narracja pracy, ilustracja obliczeń, analiza dokładności, niewątpliwie wskazuje na umiejętność autora rozprawy do poprawnego i przekonującego przedstawiania przez siebie wyników w sposób jasny, logiczny i zwięzły. W pracy zastosowano aproksymację członów pochodzących z pochodnych niecałkowitego rzędu z czasem ciągłym. Można by się zastanowić, że skoro dyskretyzowany jest składnik ciągły, w dodatku z przywołaniem definicji Grunwalda-Letnikova, to dlaczego nie użyć od razu definicji z czasem dyskretnym i nie dokonać badań i implementacji bezpośrednio z użyciem dyskretnych definicji. Należy zwrócić uwagę, że wspomniany przez autora pracy problem braku analizy stabilności układów w

pętli zamkniętej dotyczy tak samo układów z czasem ciągłym jak i dyskretnym. Warto zwrócić uwagę autorowi pracy i jej czytelnikom, iż zgodność zastosowań następuje jedynie w przypadku użycia definicji typu Grunwlda-Letnikova, której implementacja jest od razu właściwie dokonywana w czasie dyskretnym. Przy czym definicja pochodnej Gruwalda-Letnikowa nie jest zgodna jak autor twierdzi z definicją Caputo, zgodność następuje jedynie w przypadku zerowych warunków początkowych (i taki przykład podaje autor rozprawy).

W pracy pomimo dość szerokiego rozdziału dotyczącego informacji technicznej odnośnie układów wbudowanych brak szczegółów technicznych samej implementacji, kodów źródłowych trudno szukać w załączniku, bo ich nie zamieszczono. Nie podano także postaci skryptów Matlaba.

Uważam, że rozprawa wnosi do dziedziny zastosowań układów niecałkowitego rzędu, pewną nową jakość w stosunku do stanu wiedzy w literaturze światowej oraz rozwija w pewnym stopniu zakres metod stosowanych w doborze kontrolerów typu PID z zastosowaniem członów niecałkowitego rzędu. Niniejsza rozprawa bez wątpienia wnosi nowy pierwiastek w zakresie zastosowań układów niecałkowitego rzędu i układów wbudowanych i otwiera niejako drzwi do szerszego zastosowania obu połączonych narzędzi.

4. Ocena końcowa rozprawy

Podsumowując, stwierdzam, iż rozprawa w wystarczającym stopniu spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w dziedzinie Nauk Technicznych i Dyscyplinie **Automatyka i Robotyka**, w świetle obowiązujących przepisów określonych art. 13. Ust. 1 Ustawy z dn. 14 marca 2003 r. o st. Naukowych i tytule naukowym oraz o st. I tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Z 2014 r. poz. 1852 ze zm.). W związku z powyższym zwracam się z wnioskiem do Rady Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH o dopuszczenie magistra inżyniera Waldemara Bauera do publicznej obrony.

