

Wpłynęło dnia 15. 01. 2024

Zarejestrowano pod nr

Podpis

Prof. dr hab. inż. Andrzej Dzieliński
Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej
Wydział Elektryczny
Politechnika Warszawska

Warszawa, 11.01.2024 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Pana
mgra inż. Jakuba Żegleń-Włodarczyka,

pt. „Szybkie sterowanie niecałkowitego rzędu obiektami nieliniowymi”

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-hutniczej dr hab. inż. Ryszarda Sroki, profesora uczelni z dnia 17 listopada 2023 r.

1. Teza, cel i problematyka rozprawy

Rozprawa doktorska Pana Jakuba Żegleń-Włodarczyka dotyczy problemów sterowania obiektami nieliniowymi o szybkiej dynamice. Problematyka ta jest ważna z zarówno z teoretycznego, ale przede wszystkim coraz bardziej z praktycznego punktu widzenia. Problem sterowanie szybkich obiektów nieliniowych występuje często w różnych dziedzinach działalności ludzkiej i możliwość jego poprawnego rozwiązania jest nie do przecenienia we współczesnym świecie. Jednym z kluczowych zadań jakie należy zrealizować przy rozwiązywaniu tego problemu jest zaprojektowanie regulatora, który zapewni odpowiednią jakość otrzymanego układu regulacji. W literaturze można znaleźć szereg metod projektowania regulatorów dla szybkich nieliniowych obiektów, jednak każda z nich ma nie tylko zalety, ale także i wady. Stąd wynika duże znaczenie prac oferujących nowe rozwiązania, w szczególności opracowanie nowych bądź udoskonalonych metod projektowania. Doktorant, w swojej pracy, postanowił wykorzystać w tym celu rachunek różniczkowo-całkowy niecałkowitego rzędu. Historia stosowania rozwiązań opartych na rachunku niecałkowitego rzędu dla tej grupy problemów jest już bardzo długa. Wiele z istniejących propozycji było wynikiem często skomplikowanych rozważań teoretycznych inne z kolei miały charakter ad hoc i były oparte na doświadczeniu i/lub intuicji, jeszcze inne miały charakter formalny i były oparte na solidnych podstawach matematycznych. Mimo, że historia sterowania niecałkowitego rzędu liczy już ponad trzy dekady to nadal wiele problemów, zwłaszcza

dotyczących próby zastosowania metod formalnych opartych na rachunku różniczkowo-
całkowym niecałkowitych rzędów jest wciąż dalekich od w pełni satysfakcjonującego
rozwiązania. Ten kierunek prac nad problemami poprawy dokładności i wydajności
algorytmów sterowania nieliniowego wydaje mi się jak najbardziej właściwy, i
recenzowana praca wpisuje się w ten właśnie nurt badawczy. Mimo ponad pięciu dekad
intensywnych prac w sterowania nieliniowego ciągle wiele fundamentalnych problemów
teoretycznych, a zwłaszcza praktycznych pozostaje nierozwiązanych lub są one
rozwiązane w sposób niezadowalający. W szczególności odczuwa się pewne luki jeśli
chodzi o wysokiej jakości, ale efektywne obliczeniowo metody sterowania w czasie
rzeczywistym. Autor recenzowanej rozprawy doktorskiej podjął się niełatwego zadania
wypełnienia tej luki i przedstawienia nowych, oryginalnych rezultatów z tej dziedziny.
Celem, jaki postawił sobie Autor pracy była pracowanie nowych metod sterowania
szybkimi obiektami nieliniowymi przy zastosowaniu rachunku różniczkowego
niecałkowitych rzędów.

Trzy tezy postawione przez Autora w pracy mówią, że:

po pierwsze: „Regulator PID niecałkowitego rzędu (FOPID) może być zastosowany do
sterowania szybkimi systemami dynamicznymi”,

po drugie: „Zastosowanie regulatora FOPID w większości sytuacji zapewnia lepszą
jakość regulacji, w sensie wybranych funkcji kosztu, niż w przypadku klasycznych metod
sterowania”,

po trzecie: „Algorytm regulatora FOPID może być zaimplementowany na platformie
cyfrowej ze spełnieniem wymagań czasu rzeczywistego”.

Są to zgodnie z moją wiedzą tezy oryginalne, chociaż teza druga nie precyzuje
klasycznych metod sterowania w stosunku do których Autor wykazuje wyższość
proponowanych rozwiązań. Na pewno opracowanie udoskonalonych algorytmów
sterowania w czasie rzeczywistym szybkich obiektów nieliniowych z wykorzystaniem
regulatora FOPID jest zadaniem ambitnym i wartym postawienia. Wykazanie tych tez
pozwala na stworzenie solidnej podstawy teoretycznej dla praktycznych zastosowań
regulatorów FOPID. Problematykę pracy uważam za aktualną, trafnie dobraną i dającą
możliwość osiągnięcia interesujących rezultatów teoretycznych o poważnych
implikacjach praktycznych.

Opiniowana rozprawa doktorska składa się z części wstępnej, czterech zasadniczych rozdziałów, podsumowania oraz spisu literatury zawierającego 231 pozycji najważniejszych prac z dziedziny sterowania nieliniowego, systemów dynamicznych, układów niecałkowitych rzędów, metod optymalizacji, modelowania i symulacji układów złożonych.

Praca jest obszerna i liczy 139 stron. We wprowadzeniu Autor pracy przedstawia krótki przegląd tematyki, formułuje cel i tezy pracy, jak również dokonuje przeglądu zakresu pracy. W podsumowaniu przedstawia zaś wnioski, uwagi końcowe i podsumowanie wykonanych prac. Rozdziały drugi, trzeci i czwarty mają charakter wybitnie przeglądowy, są podsumowaniem stanu wiedzy z kilku dziedzin, które są wykorzystywane w pracy – elementów rachunku różniczkowego niecałkowitego rzędu, algorytmów optymalizacyjnych inspirowanych biologicznie oraz modeli matematycznych wybranych obiektów nieliniowych (suwnicy 3D, dwurotorowego układu aerodynamicznego oraz wahadła odwróconego). W sumie rozdziały te to trzydzieści dwie strony. Główne rezultaty oryginalne pracy zostały zawarte w rozdziale piątym, który liczy pięćdziesiąt osiem stron.

2. Ocena rozprawy

Uwagi ogólne

Przedstawioną pracę doktorską oceniam pozytywnie. Autor z powodzeniem rozwiązał kilka trudnych problemów naukowych i inżynierskich. Zastosował przy tym poprawne metody projektowania regulatorów niecałkowitego rzędu w oparciu o zaawansowany aparat matematyczny i metody automatyki, informatyki, i matematyki. Ponadto rozprawa zawiera dużą ilość informacji na temat rachunku różniczkowego niecałkowitych rzędów, metod optymalizacji inspirowanych biologicznie oraz modeli matematycznych, co świadczy o szerokiej wiedzy Autora w dziedzinach wchodzących w zakres prezentowanej rozprawy.

Za główne osiągnięcia pracy uważam:

1. implementację regulatora PID niecałkowitego rzędu z wykorzystaniem aproksymacji Oustaloup'a (Oustaloup Recursive Approximation),

J.

2. opracowanie i implementację metod dostrajania do wybranych obiektów regulatora PID niecałkowitego rzędu w oparciu o jeden z algorytmów optymalizacyjnych inspirowanych biologicznie – optymalizację stada wilków (Grey Wolf Optimizer),
3. wykonanie wyczerpujących badań symulacyjnych (środowisko Matlab/Simulink) zaprojektowanych układów regulacji dla wybranych obiektów nieliniowych.

Praca jest napisana poprawnie, chociaż jej redakcja mogłaby być trochę bardziej przemyślana. Zbyt duża część pracy, moim zdaniem, jest poświęcona przeglądowi stanu wiedzy (ok. 35% tekstu zasadniczego). Natomiast, nieco brakuje rozważań teoretycznych np. dotyczących stabilności proponowanych układów regulacji, które potwierdzałyby tezy pracy (zwłaszcza pierwszą i drugą). Jednak liczba i waga oryginalnych wyników uzyskanych przez Autora i opisanych w recenzowanej rozprawie doktorskiej skłania mnie do wyrażenia o niej pozytywnej opinii merytorycznej.

Uwagi krytyczne i pytania:

Poniżej przedstawiam krytyczne uwagi merytoryczne oraz pytania:

1. Pracę uważam za cenny wkład do dziedziny sterowania niecałkowitego rzędu obiektów nieliniowych. Trochę brakuje mi jednak pogłębionej motywacji wyboru algorytmów, regulatorów (zarówno rodzaju jak i liczby) jak i metod optymalizacji oraz porównania wyników stosowanych przez Autora metod z innymi rozwiązaniami stosowanymi do rozwiązania tego typu problemów np. algorytmami sterowania nieliniowego.
2. Autor w opisie jednego ze swoich głównych osiągnięć mówi o optymalizacji procesu dostrajania współczynników regulatora. Jakie były przesłanki wyboru parametrów wejściowych stosowanych przy optymalizacji. Jakie były argumenty na rzecz wyboru ograniczeń? Czy były prowadzone badania przy innych wartościach tych zmiennych?
3. W pracy opisana jest znaczna liczba eksperymentów symulacyjnych układów regulacji dla trzech wybranych obiektów i wybranych kryteriów jakości stosowanych przy procedurach optymalizacyjnych. W przypadku każdego z

obiektów zastosowano różne, hybrydowe struktury regulacji składające się z kombinacji klasycznych regulatorów PID oraz regulatorów FOPID. Ponadto, w każdym przypadku zastosowano różne kryteria w algorytmie optymalizacyjnym. Jakże były argumenty przemawiające za wyborem takich struktur i kryteriów?

Wniosek końcowy

Recenzowana praca doktorska, realizowana w dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne stanowi interesującą próbę rozwiązania ważnych z praktycznego punktu widzenia problemów sterowania obiektami nieliniowymi o szybkiej dynamice. Jest skomponowana w zasadzie poprawnie, i mimo pewnych braków redakcyjnych należy ją ocenić pozytywnie. Praca jest objętościowo dość obszerna (139 stron) i zawiera oprócz oryginalnych wyników Autora również wprowadzenie i omówienie pewnych zagadnień z dziedzin objętych pracą, co aczkolwiek nieco zbyt obszerne, może być pomocne dla mniej wprowadzonego w zagadnienie czytelnika i świadczy o wiedzy Autora w omawianych dziedzinach. Autor postawił sobie w pracy ważne zadania badawcze i przedstawił oryginalne metody jego rozwiązania. Metody te jak wykazano w pracy są właściwe. Przedstawione w recenzji uwagi krytyczne mają charakter dyskusyjny i nie umniejszają całkowitej pozytywnej oceny rozprawy doktorskiej. Na uwagę zasługuje fakt opublikowanie wyników pracy w co najmniej pięciu artykułach naukowych, w tym dwóch w czasopismach (Pomiary Automatyka Robotyka oraz Electronics) oraz na konferencjach międzynarodowych. W związku z powyższym stwierdzam, że praca spełnia wymogi określone w odnośnych przepisach i wnioskuję o dopuszczenie Pana mgr inż. Jakuba Żegleń-Włodarczyka do publicznej obrony pracy doktorskiej.

