

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

Warszawa, 23.04.2019

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Pana
mgra inż. Kamila Borawskiego,

pt. „Zastosowanie sprzężeń zwrotnych w liniowych deskryptorowych układach dynamicznych”

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej, dr hab. inż. Mirosława Świercza, prof. PB, z dnia 29 marca 2019 r.

1. Teza, cel i problematyka rozprawy

Rozprawa doktorska Pana Kamila Borawskiego dotyczy problemów wykorzystania metod teorii sterowania i systemów do problemów analizy, syntezy i symulacji liniowych układów deskryptorowych (singularnych). W szczególności obiektem zainteresowania Autora jest zastosowanie syntetycznego podejścia do teorii tego typu układów w wykorzystaniu kilku znanych metod analizy. Problematyka ta jest ważna z zarówno z teoretycznego, ale również coraz bardziej z praktycznego punktu widzenia. Znaczenie wysokiej jakości i wiarygodności modeli oraz metod i narzędzi projektowania i symulacji złożonych układów jest nie do przecenienia we współczesnym świecie. Jednym z kluczowych problemów jest stworzenie odpowiednich formalizmów pozwalających na opracowanie ścisłych metod tworzenia modeli takich zjawisk, a następnie stworzenie podstaw teoretycznych do rozwijania metod sterowania, architektury, algorytmów i struktur danych pozwalających na osiąganie układów regulacji o pożądanym własnościach. Wiele prac poświęconych tematyce analizy i syntezy układów regulacji dla modeli deskryptorowych bazowało na stosunkowo wyrafinowanych metodach matematycznych i z trudnością dawało się stosować w praktyce. Stosunkowo niedawno rozpoczęły się próby stworzenia metod formalnych opartych na solidnych podstawach teoretycznych takich dziedzin jak teoria systemów i teoria sterowania, ale jednocześnie możliwych do zastosowania. Ten sposób rozwiązanie



postawionych problemów wydaje mi się jak najbardziej właściwy, i recenzowana praca wpisuje się w ten właśnie nurt badawczy. Jednocześnie mimo wielu dekad intensywnych prac w analizie i syntezy sterowania układów deskryptorowych ciągle wiele fundamentalnych problemów teoretycznych, a zwłaszcza praktycznych pozostaje nierozwiązanych lub są one rozwiązywane w sposób nie całkiem zadowalający. W szczególności odczuwa się silny brak wysokiej jakości, ale możliwych do praktycznego zastosowania metod projektowania z wykorzystaniem modeli układów deskryptorowych, oraz efektywnych obliczeniowo metod symulacji. 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 było opracowanie nowych metod analizy, a zwłaszcza syntezy układów deskryptorowych ze sprzężeniami zwrotnymi i mającymi zadane cechy takie jak dodatniość, stabilność lub superstabilność.

Teza postawiona przez Autora w pracy mówi, że:

„Dla ciągłego i dyskretnego liniowego deskryptorowego układu dynamicznego opisanego w przestrzeni stanu można dokonać syntezy sprzężeń zwrotnych mających na celu uzyskanie dodatniości, stabilizację i superstabilizację układu”.

Jest to zgodnie z moją wiedzą teza oryginalna. Na pewno opracowanie ścisłego formalizmu analizy i syntezy, a następnie ram jego zastosowania jest zadaniem ambitnym i wartym postawienia. Wykazanie powyższej tezy pozwala na stworzenie solidnej podstawy teoretycznej dla praktycznych inżynierskich metod analizy, syntezy i symulacji złożonych układów fizycznych. Problematykę pracy uważam za aktualną, trafnie dobraną i dającą możliwość osiągnięcia interesujących rezultatów teoretycznych o poważnych implikacjach praktycznych.

Opiniowana rozprawa doktorska składa się z wprowadzenia i czterech zasadniczych rozdziałów, zakończenia oraz spisu literatury zawierającego 106 pozycji najważniejszych prac z dziedziny teorii systemów dynamicznych, układów deskryptorowych, modelowania układów złożonych, symulacji, informatyki i sterowania. We wprowadzeniu Autor pracy przedstawia krótkie wprowadzenie do tematyki analizy i syntezy dla układów deskryptorowych, formułuje tezy pracy, jak również dokonuje przeglądu literatury z dziedzin objętych pracą. W zakończeniu przedstawione zaś są



wnioski, uwagi końcowe i podsumowanie wykonanych prac. Ponadto wskazane są w nim oryginalne osiągnięcia Autora oraz możliwości dalszego rozwoju zaproponowanych metod analizy i syntezy.

Główne rezultaty pracy zostały zawarte w rozdziałach pierwszym, drugim, trzecim i czwartym. Większość wyników analizy i syntezy została otrzymana za pomocą trzech metod: rozwinięcia w szereg Laurenta, odwrotnej macierzy Drazina oraz dekompozycji Weierstrassa-Kroneckera.

W rozdziale pierwszym przedstawione zostały wyniki analityczne dodatniości, stabilności i superstabilności dla deskryptorowych układów ciągłych

Rozdział drugi stanowi prezentację analogicznych wyników jak w rozdziale pierwszym, ale dla układów dyskretnych. Dodatkowo przedstawiono zależności wiążące macierze modeli ciągłych i dyskretnych dla wybranej metody dyskretyzacji (Eulera).

W rozdziale trzecim Autor proponuje rozwiązania problemu syntezy statycznych i dynamicznych sprzężeń zwrotnych gwarantujących dodatniość, stabilizację lub superstabilizację układu deskryptorowego. W rozdziale tym znajdują się również liczne wyniki symulacji przykładów ilustrujących proponowane rozwiązania.

Rozdział czwarty pracy zawiera przykłady zastosowań proponowanych rozwiązań teoretycznych do sterowania manipulatorem planarnym oraz układem trójfazowym RLC, gwiazda-gwiazda rozumianych jako uproszczony model linii elektroenergetycznej z odbiornikiem pojemnościowym.

2. Ocena rozprawy

Uwagi ogólne

Przedstawioną pracę doktorską oceniam bardzo wysoko. Autor z powodzeniem rozwiązał szereg trudnych problemów naukowych i inżynierskich. Zastosował przy tym wyrafinowane metody analizy i syntezy liniowych układów deskryptorowych w oparciu o złożony aparat matematyczny i metody teorii sterowania. Ponadto rozprawa zawiera dużą ilość informacji na temat liniowych układów deskryptorowych ciągłych i dyskretnych, co świadczy o szerokiej i pogłębionej wiedzy Autora w dziedzinach wchodzących w zakres prezentowanej rozprawy.

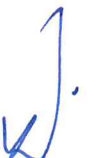
Za główne osiągnięcia pracy uważam:

1. sformułowanie warunków analitycznych dodatniości i superstabilności liniowych układów deskryptorowych w oparciu o metody: rozwinięcia w szereg Laurenta, odwrotnej macierzy Drazina, dekompozycji Weierstrassa-Kroneckera,
2. podanie zależności wiążących ze sobą deskryptorowe modele ciągle i dyskretne w oparciu o aproksymację metodą Eulera, pozwalających na ocenę wpływu wartości kroku dyskretyzacji na właściwości układu,
3. opracowanie metody wyznaczania macierzy odwrotnej Drazina dla pewnej klasy macierzy kwadratowych,
4. opracowanie metod syntezy statycznych sprzężeń zwrotnych od wektora stanu i od wyjścia mających na celu uzyskanie dodatniości, stabilizację i superstabilizację liniowego układu deskryptorowego w oparciu o metody: odwrotnej macierzy Drazina i dekompozycji Weierstrassa-Kroneckera,
5. opracowanie metod syntezy dynamicznych sprzężeń zwrotnych od wektora stanu i od wyjścia sprowadzających układ deskryptorowy do postaci układu standardowego.

Liczba i waga oryginalnych wyników uzyskanych przez Autora i opisanych w recenzowanej rozprawie doktorskiej skłania mnie do wyrażenia o niej zdecydowanie pozytywnej opinii merytorycznej.

Uwagi krytyczne i pytania:

1. Pracę uważam za cenny wkład do dziedziny teorii liniowych układów deskryptorowych ciągłych i dyskretnych. Jedną z ważnych jej cech pozytywnych jest dobry przegląd dotychczasowych osiągnięć w tej dziedzinie. Trochę brakuje mi jednak pogłębionej motywacji wyboru i porównania wyników stosowanych metod z innymi rozwiązaniami stosowanymi dla układów liniowych z ograniczeniami algebraicznymi. Dlaczego akurat układy deskryptorowe i dlaczego jest to propozycja lepsza?
2. W pracy znajduje się duża liczba przykładów symulacyjnych, które potwierdzają prawidłowość opracowanych modeli i algorytmów. Jednakże ostatecznym



ukoronowaniem ich stosowalności byłoby porównanie wyników symulacji z rzeczywistym obiektem. Czy przewidziane są takie eksperymenty na przykład z rzeczywistym manipulatorem w przyszłości?

3. Autor w pracy dokonał szerokiego przeglądu literatury z dziedzin, których praca dotyczy. Lista literatury jest bardzo bogata. Trochę brakuje jednak pozycji wskazujących istniejące zastosowania wykorzystywanych metod analizy i syntezy również w innych układach sterowania.

Wniosek końcowy

Recenzowana praca doktorska jest interesującą próbą rozwiązania ważnych z praktycznego punktu widzenia problemów analizy i syntezy liniowych układów deskryptorowych ciągłych i dyskretnych. Jest skomponowana poprawnie i zredagowana bardzo starannie, o czym świadczą bardzo nieliczne i drobne błędy redakcyjne. Praca jest objętościowo obszerna (188 stron) i zawiera oprócz oryginalnych wyników Autora również wyprowadzenie i omówienie szeregu zagadnień z dziedziny analizy i syntezy liniowych układów deskryptorowych, co może być pomocne dla mniej wprowadzonego w zagadnienie czytelnika i świadczy o szerokiej 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 jak najbardziej właściwe. Przedstawione w recenzji uwagi krytyczne mają charakter dyskusyjny i w żaden sposób nie umniejszają całkowitej wysokiej oceny rozprawy doktorskiej. Na uwagę zasługuje fakt opublikowanie wyników pracy w 6 artykułach naukowych, w tym 4 w czasopismach (Przegląd Elektrotechniczny, Measurement Automation Monitoring, International Journal of Applied Mathematics and Computer Science, Archives of Control Sciences). W związku z powyższym stwierdzam, że praca spełnia wymogi określone w Artykule 13, punkt 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki (D.U. nr 65 z 16 kwietnia 2003, poz. 595 z późniejszymi zmianami) i wnioskuję o dopuszczenie Pana mgr inż. Kamila Borawskiego, do publicznej obrony pracy doktorskiej. Jednocześnie z uwagi na liczbę i rangę oryginalnych wyników zawartych w recenzowanej pracy doktorskiej wnioskuję o jej wyróżnienie.

