

OCENA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Sebastiana Korczaka

pt. *"Dynamika i stabilność układów niedosterowanych z wymuszeniem sprzężonym"*,

promotor rozprawy: dr hab. inż. Piotr Przybyłowicz, prof. PW.

Ocenę opracowano na zlecenie Dziekana Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej.

1. CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY, METODYKA BADAŃ I ZAKRES PRACY

W przedstawionej mi do oceny rozprawie doktorskiej pt. *"Dynamika i stabilność układów niedosterowanych z wymuszeniem sprzężonym"* przeprowadzono analizę dynamiki układów niedosterowanych z uwzględnieniem zjawiska sprzężenia wymuszeń. Badania analityczne, numeryczne i doświadczalne przeprowadzono dla bryły sztywnej poruszającej się na płaszczyźnie pod wpływem siły niecentralnej z uwzględnieniem oporów wiskotycznych. Podjęte do rozwiązania zagadnienie uważam za ciekawe i ważne z naukowego i praktycznego punktu widzenia. Ze względu na występujący model nieliniowy konieczne jest wyjaśnienie zachodzących zjawisk fizycznych w sterowanym obiekcie oraz dokonanie oceny jakości zaproponowanego algorytmu sterowania. Wybrany problem wymaga sporej wiedzy z zakresu modelowania dynamiki oraz sterowania.

Rozprawa doktorska składa się z sześciu rozdziałów w których zawarto (I) wstęp wraz z uzasadnieniem podjęcia tematu oraz postawioną tezę, (II) postawy teoretyczne dotyczące układów niedosterowanych wraz z przykładami takich układów, (III) wprowadzenie do teorii sterowania gdzie omówiono cele sterowania, techniki i algorytmy oraz stabilność procesu sterowania, (IV) własne propozycje sterowania układów niedosterowanych z wymuszeniem sprzężonym, z uwzględnieniem sterowania niepełnego i pełnego opartego na odwrotności uogólnionej, (V) badania doświadczalne w których przedstawiono praktyczne implementacje sterowania pełnego i niepełnego, (VI) podsumowanie po którym zamieszczono wykaz literatury, a następnie dodatki A-F w których zamieszczono informacje uzupełniające.

Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury Autor uzasadnia wybór tematu, wykazując zagadnienia które nie były badane po czym formułuje cel, zakres i tezę rozprawy doktorskiej w której twierdzi, że zastosowanie odwrotności uogólnionej pozwala na sterowanie pełnym stanem układu osiągając lepszą dokładność sterowania. W pracy Autor opracował algorytm sterowania w zadaniu śledzenia trajektorii dla układu niedosterowanego ze sprzężonymi wymuszeniami. Opracowana metoda pozwoliła na sterowanie pełną konfiguracją układu. Model matematyczny badanego układu został opisany za pomocą równań różniczkowych zwyczajnych, z podziałem na typy w zależności od sposobu opisu modelu bryły, z podziałem na równania różniczkowe rzędu drugiego, lub równania różniczkowe rzędu pierwszego.

Zaproponowaną metodę sterowania zastosowano do śledzenia trajektorii kołowej i ósemkowej badając stabilność rozwiązania oraz dokonując oceny błędu sterowania. Dla badanego przypadku bryły napędzanej siłą niecentralną uwzględniono również ograniczoną sygnałów sterujących. Nałożone ograniczenia spowodowały dodatkowe zaburzenia ruchu które, jak wykazano w pracy, mogą skutkować ruchem chaotycznym układu. Wyznaczone obszary stabilności umożliwiają minimalizację błędu sterowania.

Przedstawiona praca stanowi oryginalne opracowanie Autora w zakresie badań analitycznych i numerycznych nowych algorytmów sterowania oraz w zakresie badań doświadczalnych weryfikujących opracowane modele teoretyczne. Do najważniejszych zagadnień zbadanych przez Autora należy zaliczyć opracowanie metody sterowania pełnego układu niedosterowanego z uwzględnieniem sprzężeń wymuszeń oraz nałożonych na nie ograniczeń. Na tej podstawie Autor zbadał wpływ wybranych parametrów strukturalnych układu oraz sprzężeń wymuszeń na jakość sterowania, w tym na minimalizację błędów sterowania. Badania prowadzono rozwiązując numerycznie układ równań różniczkowych, a następnie analizując uzyskane trajektorie, przebiegi czasowe sygnałów sterujących oraz przebiegi czasowe błędów sterowania. Wykonane powyżej badania i uzyskane wyniki teoretyczne są oryginalnym wkładem Autora w rozwój dyscypliny naukowej mechanika. Uzyskane wyniki mogą być wykorzystane w praktyce do opracowania nowych algorytmów sterowania układów niedosterowanych.

2. PYTANIA I UWAGI KRYTYCZNE

W pracy dokonano przeglądu literatury choć nie jest on przedstawiony w sposób systematyczny i uporządkowany. W poszczególnych rozdziałach znajdują się pewne

informacje na temat obecnego stanu wiedzy ale odniesione są one jedynie do pewnego podzadania, sprawia to pewną trudność w ocenieniu co nowego w swojej pracy proponuje Autor w stosunku do znanych już rozwiązań, np. rozdział analiza literatury pojawia się dopiero na str.59. Wykaz literatury mógłby być nieco szerszy, powinno tam znaleźć się więcej artykułów naukowych dotyczących bezpośrednio tematu pracy doktorskiej.

Materiał do str. 58 zawiera informacje zebrane z innych źródeł i sprawia wrażenie fragmentu monografii lub skryptu a nie pracy doktorskiej. Ta część pracy powinna być skrócona do niezbędnego minimum, natomiast nieco bardziej rozbudowana powinna być część zawierająca badania własne, czyli od str.59.

W pracy ograniczono się do badania dwóch przypadków śledzenia trajektorii kołowej i ósemkowej. Czy możliwe jest sformułowanie prawa sterowania opartego na odwrotności uogólnionej w przypadku gdy trajektoria zadana jest w postaci dowolnej funkcji ?

Na str.80 błąd sterowania opisany jest układem silnie sprzężonych i nieliniowych równań różniczkowych. Zatem w takim przypadku można się spodziewać istnienia kilku rozwiązań w zależności od zadanych warunków początkowych, przy tych samych parametrach badanego układu. Autor rozważał stabilność lokalną układu, być może oprócz rozwiązań niestabilnych badanych lokalnie istnieją inne rozwiązania stabilne. Warto byłoby poszerzyć analizę i sprawdzić istnienie innych rozwiązań oraz wyznaczyć odpowiadające im obszary warunków początkowych.

Na str.88 pojawia się stwierdzenie, że niewykluczone jest, że w pewnym zakresie parametrów możliwy jest ruch o własnościach chaotycznych. Szkoda, że ten efekt nie był dokładniej przebadany i jednoznacznie stwierdzony. Być może uzyskany ruch nieregularny ma charakter przejściowy lub też jest to atraktor nieregularny.

Algorytm sterowania opracowano dla modelu bryły traktowanej jako ciało nieodkształcalne. Czy przyjętą metodykę sterowania można uogólnić na ciała odkształcalne np. odkształcalnego ramienia robota, którego koniec ma przemieszczać się po zadanej trajektorii, zakładając ponadto, że robot jest obiektem niedosterowanym, a nałożone sygnały sterujące ograniczone ?

Usterki edycyjne i językowe

Rozdziały 2 i 3 zawierają informacje podręcznikowe, powinny być znacznie skrócone, a zawarte informacje podstawowe powinny zostać ograniczone jedynie do bezpośrednio związanych z podjętym tematem pracy doktorskiej.

Praca napisana jest poprawnie językowo, choć w kilku miejscach występują usterki edytorskie.

- Str.12 p.1.3; powinno być „istotny wkład”.
- Str.13 linia 1; do określenia.
- Str.13 „sterowanie położeniem”, „sterowanie położeniem i obrotem”. Chyba chodzi tutaj o przesunięcie środka masy (translację) oraz obrót ciała (rotację). Zmiana położenia ciała może wynikać zarówno z rotacji jak i przesunięcia równoległego (translacji).
- Str.16 równanie (2.8); energię kinetyczną w mechanice analitycznej zwykle oznaczamy literą „T”. Oznaczenie poprzez „K” jest sprzeczne z dalszymi równaniami np. (2.57) gdzie „K” oznacza macierz sztywności.
- Str.18 przed p.2.5; powinno być „więzami” a ponadto zasady zachowania pędu i krętu lub energii nie są więzami nieholonomicznymi. Ten akapit jest niefortunnie sformułowany.
- Str.41 przed 3.1.1; „optymalizacja oparta o warunek” oraz inne fragmenty pracy np. str.47 po 3.4.1 „w oparciu o ...” , niepoprawnie, w języku polskim powinno być „oparte na ...”.
- Str. 64 linia 1; „niewystarczającym dużych problemów”, urwany fragment zdania
- Str. 67 p.4.4.3 „Stabilność błędu sterowania” jest niezbyt fortunnym sformułowaniem, raczej należy tutaj rozumieć stabilność rozwiązania.
- Str.68 co oznacza „c” w nierówności (4.55), parametr ten nie występuje w (4.53) i (4.54).
- Str.82 p.4.5.4 „badania stabilności” - lepiej rozwiązania, a nie błędu.
- Str.85 linia 8, „regulatora”.
- Str.131 linia 3 od dołu; „algebrę tę” a nie „tą”.

3. OCENA ROZPRAWY I WNIOSEK KOŃCOWY

Recenzowana praca zawiera oryginalne wyniki badań naukowych Autora. Zastosowane metody analityczne, numeryczne i doświadczalne pozwoliły na opracowanie i zweryfikowanie metody sterowania układem niedostosowanym ze sprzężonymi wymuszeniami. Zaproponowana metoda może być wykorzystana w praktyce.

Biorąc pod uwagę całość pracy tj. jej wartość poznawczą oraz wkład własny Autora stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Sebastiana Korczaka pt. "*Dynamika i stabilność układów niedosterowanych z wymuszeniem sprzężonym*", spełnia wymagania stawiane w ustawie z dnia 14 marca 2003r., wraz z późniejszymi zmianami, o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003r. Nr 65, poz. 595) w odniesieniu do prac doktorskich. Wniosuję zatem o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Jerzy Warmiński

