



Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Krzysztofa Kawlewskiego pt.
„Aktywne sterowanie drganiami mechatronicznego układu napędowego”

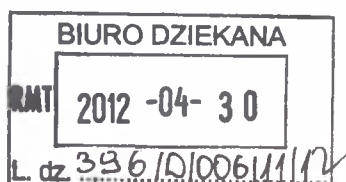
1. Ocena aktualności tematu

Złożoność zjawisk fizycznych występujących w mechatronicznych układach napędowych maszyn i urządzeń wymaga szczególnego podejścia do procesu projektowo-konstrukcyjnego. W procesie projektowania układów mechatronicznych powszechnym staje się prowadzenie badań symulacyjnych i optymalizacyjnych z wykorzystaniem modeli matematycznych. Opracowanie własnych, specjalizowanych algorytmów i programów komputerowego wspomaganie doboru cech konstrukcyjnych, wykorzystujących dostępne programy do badań symulacyjnych, umożliwia skuteczne przyspieszenie doboru cech konstrukcyjnych złożonych układów technicznych przy jednoczesnym zmniejszeniu nakładów finansowanych w fazie projektowania i budowy prototypu.

Jednym z podstawowych wymagań w procesie konstruowania nowoczesnych maszyn i urządzeń dźwigowych jest odpowiedni dobór własności dynamicznych układu, zapewniających realizację założonych trajektorii ruchu. Szczególnie efektywnym podejściem w tym zakresie jest zastosowanie metod i środków aktywnej redukcji drgań. Aktywne sterowanie drganiami wymaga dostarczenia do układu dodatkowej energii, co zwiększa koszty eksploatacji. Szczególnymi predestynowanymi do zastosowań aktywnych układów redukcji drgań są mechatroniczne układy napędowe, wyposażone np. w serwonapędy. Możliwość precyzyjnego sterowania momentem napędowym silnika umożliwia aktywne oddziaływanie na układ dynamiczny w celu minimalizacji amplitud drgań członów roboczych. Konieczne jest jednak opracowanie modelu matematycznego oraz algorytmu optymalizacji parametrów układu sterowania napędem.

W opiniowanej pracy Pana mgr inż. Krzysztofa Kawlewskiego podjęto badania dotyczące modelowania, analizy dynamicznej oraz optymalizacji sterowania układami napędu mostu i wózka suwnicy w celu minimalizacji wychyleń ładunku zamocowanego do haka. Praca dotyczy obiektu rzeczywistego, a jej wyniki mogą być w przyszłości wykorzystane w procesie projektowania nowej generacji urządzeń transportu wewnętrznego.

W omówionym kontekście podjęta przez Autora rozprawy tematyka jest zagadnieniem o dużym znaczeniu praktycznym, stwarza podstawę opracowania przydatnego narzędzia



wspomagającego proces projektowo-konstrukcyjny mechatronicznych układów napędowych urządzeń transportu bliskiego. Uważam, że wybrany temat pracy doktorskiej jest właściwy i aktualny zarówno pod względem naukowym, jak również pod względem użytkowym. Tematyka rozprawy związana jest z rozwiązywaniem aktualnych problemów technicznych, odpowiadając merytorycznie dyscyplinie naukowej **mechanika** w specjalności mechatronika.

2. Charakterystyka pracy

Praca zawiera 96 stron i została podzielona na 9 rozdziałów oraz uzupełniona wykazem literatury cytowanej w tekście i spisem rysunków.

W rozdziale pierwszym zawarto wprowadzenie do zagadnień związanych z tematem rozprawy oraz wyjaśniono podstawowe pojęcia mechatroniki. Omówiono wpływ synergii działania układów mechanicznych, elektrycznych i elektronicznych wraz z oprogramowaniem na poprawę uzyskiwanych rozwiązań zarówno pod względem konstrukcji, jak i funkcjonalności. Przedstawiono opis podejścia mechatronicznego w projektowaniu układów jako systemowego podejścia do opracowania nowoczesnych maszyn i urządzeń technicznych. Sklasyfikowano systemy mechatroniczne oraz zaprezentowano obszary aplikacji mechatroniki.

Rozdział drugi stanowi przegląd aktualnego stanu wiedzy na temat zagadnień związanych z problematyką dynamiki i optymalizacji układów mechatronicznych. Omówiono tematykę występowania drgań w układach fizycznych i sposobów ich eliminacji. Wymieniono poszczególne sposoby redukcji drgań, a także przykłady implementacji rozwiązań minimalizujących poziom drgań w urządzeniach stosowanych w różnych gałęziach przemysłu. Wskazano także cechy, które powinien spełniać algorytm sterujący pracą urządzenia, tak aby działanie było efektywne i skuteczne, przy jednoczesnym zachowaniu niskiego poziomu drgań.

W rozdziale trzecim przedstawiono cel pracy, którym jest opracowanie algorytmu redukcji drgań mechatronicznego układu napędowego z wykorzystaniem sterowanego silnika napędzającego dany układ.

Rozdział czwarty poświęcony jest modelowaniu układów mechatronicznych. Przedstawiono podział i opisano poszczególne podejścia w modelowaniu tej klasy układów, a dla podejścia wykorzystującego konwencję układów wieloczłonowych dokonano szerszego opisu z uwzględnieniem analizy dynamiki i analizy kinematycznej. Przedstawiono metodę tworzenia równań ruchu układu wieloczłonowego oraz algorytm rozwiązania takiego zagadnienia. W dalszej części rozdziału rozpatrzono problematykę drgań w układach mechatronicznych oraz sposoby ich eliminacji poprzez syntezę odpowiedniego układu sterowania realizującego algorytm redukcji drgań. W jednym z podrozdziałów dokonano opisu regulatora rozmytego działającego w oparciu o logikę rozmytą. Wyjaśniono sposób działania regulatora rozmytego, tworzenia reguł rozmytych oraz doboru funkcji przynależności dla zmiennych wejściowych i wyjściowych.

W rozdziale piątym przedstawiono problematykę związaną z optymalizacją sterowania układami mechatronicznymi, przedstawiono podstawowe cele optymalizacji, dokonano podziału i charakterystyki poszczególnych metod optymalizacji układów mechatronicznych.

Dużo uwagi poświęcono opisowi algorytmów genetycznych. Przedstawiono różne podejścia wykorzystywane w optymalizacji za pomocą algorytmów genetycznych układów z wykorzystaniem modeli utworzonych w oparciu o logikę rozmytą. Dla zagadnienia optymalizacji dynamicznej przebiegu czasowego, przedstawiono wykorzystywane wskaźniki jakości.

Rozdział szósty zawiera opis modelu mechatronicznego układu napędowego suwnicy. We wstępie dokonano przedstawienia problematyki związanej z dźwignicami, sposoby sterowania dźwigniami i charakterystykę pracy tego typu urządzeń. W opisie modelowania układu suwnicowego zawarto przyjęte założenia dotyczące działania układu i założenia upraszczające w procesie modelowania. W pracy przedstawiono modele układu napędowego, układu sterującego oraz model części mechanicznej – wykonawczej, zaimplementowane w środowisku Matlab/Simulink. Scharakteryzowano budowę regulatora rozmytego sterującego pracą układu, zamieszczono także poszczególne reguły oraz funkcje przynależności opisujące stany poszczególnych sygnałów wejściowych i wyjściowych. Założono że, działanie regulatora będzie miało na celu: realizację przestawiania suwnicy wraz z ładunkiem oraz kontrolę i minimalizację wielkości kąta wychylenia ładunku od pozycji pionowej w czasie transportu ładunku.

Rozdział siódmy stanowi przedstawienie wyników symulacji z wykorzystaniem modelu suwnicy opisanego w rozdziale poprzednim. Rozdział ten zawiera także, opis metody oraz wyniki optymalizacji układu regulatora przeprowadzonej za pomocą algorytmów genetycznych. Proces optymalizacji zrealizowano dla dziesięciu zmiennych decyzyjnych, które opisują kształt i przebiegi poszczególnych funkcji przynależności, określających wartości sygnałów wejściowych - położenia i kąta wychylenia ładunku. Minimalizowaną funkcją celu podczas optymalizacji była suma dwóch wartości odnoszących się do stopnia realizacji poszczególnych kryteriów – położenia i kąta wychylenia. W dalszej części rozdziału przedstawiono wyniki optymalizacji i symulacji modelu z wyznaczonymi parametrami układu regulatora, które zawierają przebiegi położenia i kątów wychylenia dla nastaw regulatora rozmytego uzyskanych w procesie optymalizacji.

W rozdziale ósmym zawarto wyniki badań doświadczalnych i eksperymentalnych, przeprowadzonych na rzeczywistym obiekcie modelu układu suwnicowego. Symulacje pracy modelu suwnicy realizowano w trybie czasu rzeczywistego. Dla przyjętego przebiegu sygnałów sterujących przeprowadzono badanie działania układu suwnicowego, gdzie rolę regulatora pełnił regulator rozmyty prezentowany w poprzednich rozdziałach. Wyniki uzyskane podczas badań były porównywane z wynikami otrzymanymi w trakcie symulacji numerycznych. W treści pracy zawarto porównanie pracy układu i uzyskiwanych przebiegów czasowych bez układu kontroli i redukcji kąta wychylenia ładunku od pionu, z pracą układu gdzie dokonywana była aktywna kontrola i redukcja kąta wychylenia.

Rozdział dziewiąty zawiera podsumowanie i wnioski końcowe w których scharakteryzowano i opisano otrzymane rezultaty. W rozdziale opisano również kierunki dalszych prac. Spis literatury wykorzystywanej w pracy zawiera 82 pozycje z zakresu modelowania i sterowania oraz optymalizacji. Są to publikacje głównie z okresu ostatnich 20 lat, pochodzące w dużym stopniu z renomowanych czasopism o zasięgu międzynarodowym.

3. Ocena pracy

Pod względem merytorycznym praca doktorska nie budzi zastrzeżeń i jest opracowana prawidłowo. Przedstawia nowe osiągnięcia w zakresie zastosowania metod modelowania i optymalizacji układu napędowego suwnicy ze sterowaniem rozmytym, a w konsekwencji minimalizacji odchylenia ładunku od zadanej trajektorii. Treść pracy jest podporządkowana wyznaczonemu celowi naukowemu. Do głównych zalet i osiągnięć opiniowanej rozprawy należy zaliczyć:

- opracowanie algorytmu sterowania układem na bazie regulatorów rozmytych,
- praktyczną weryfikację opracowanego algorytmu optymalizacji i układu sterowania z wykorzystaniem stanowiska badawczego,
- opracowanie metodyki modelowania dynamiki i minimalizacji drgań ładunku suwnicy z wykorzystaniem modeli dyskretnych,
- weryfikację eksperymentalną poprawności zaproponowanej metody oraz uzyskaną zgodność wyników symulacji z wynikami badań eksperymentalnych,
- dobór układu sterowania umożliwiającego zwiększenie bezpieczeństwa eksploatacji suwnic w układach transportu wewnętrznego,
- możliwość uogólnienia algorytmu na szeroką klasę mechatronicznych układów napędowych,
- możliwość wykorzystania otrzymanych wyników badań i opracowanej metodyki badawczej w praktyce przemysłowej.

Praca pod względem merytorycznym jest czytelna, chociaż nie pozbawiona drobnych błędów stylistycznych i redakcyjnych. Pewne zagadnienia budzą jednak następujące wątpliwości, które należałoby wyjaśnić:

- przegląd literatury jest zbyt ogólny i brak w nim krytycznego odniesienia się do wyników prac innych badaczy,
- w pracy zabrakło porównania zaproponowanego układu sterowania i algorytmu optymalizacji z rozwiązaniami już istniejącymi,
- na jakiej podstawie dokonano wyboru algorytmu optymalizacji?
- brak wskazówek do praktycznego zastosowania proponowanego podejścia w procesie projektowo-konstrukcyjnym urządzeń dźwigowych,
- czy zastosowany w pracy algorytm wykorzystujący logikę rozmytą jest rozwiązaniem najlepszym spośród omawianych technik sztucznej inteligencji? W pracy brak przekonującego uzasadnienia.

Wymienione powyżej uwagi zostaną zapewne skomentowane przez Autora rozprawy w trakcie publicznej obrony natomiast nie umniejszają mojej pozytywnej oceny pracy.

4. Ocena końcowa

Recenzowana praca zawiera interesujące algorytmy, wyniki symulacji komputerowych oraz wyniki badań doświadczalnych, które stanowią odpowiedni wkład Autora w zakresie aktywnego sterowania drganiami mechatronicznych układów napędowych. Opracowane algorytmy sterowania, metodyka pomiarów, zestaw aparatury i sposób realizacji badań świadczą o właściwym przygotowaniu doktoranta do prowadzenia badań naukowych. Na podkreślenie zasługuje użyteczna strona dysertacji. Otrzymane wyniki i opracowane wnioski mogą być bezpośrednio zastosowane w procesie sterowania drganiami ładunku w układach dźwignicowych. Opracowane algorytmy modelowania i analizy drgań oraz sposób realizacji tych badań, świadczą o bardzo dobrym przygotowaniu doktoranta do prowadzenia działalności naukowo-badawczej. Na podkreślenie zasługuje przede wszystkim użyteczna strona dysertacji. Opracowana metodyka badawcza powinna być rozwijana i z powodzeniem może znaleźć zastosowanie zarówno w procesie projektowo-konstrukcyjnym, jak również podczas monitorowania drgań odpowiedzialnych mechatronicznych układów napędowych urządzeń dźwigowych.

Recenzowana praca dr. inż. Krzysztofa Kawlewskiego spełnia zatem wymogi odnośnie do przewodu doktorskiego, określone w **ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki**.

Biorąc powyższe pod uwagę wnioskuję o dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Aradina Meşke