



RECENZJA

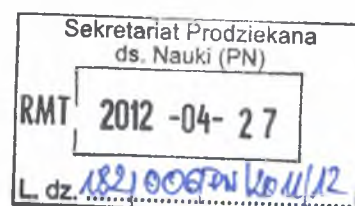
rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Kawlewskiego pt. „Aktywne sterowanie drganiami mechatronicznego układu napędowego”.

Formalną podstawą do przedłożenia niniejszej recenzji było pismo Dziekana Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej, prof. dr hab. inż. Jerzego Świdra z dnia 28 marca 2012 r.

1. Charakterystyka ogólna rozprawy.

Nadmierne drgania układów mechanicznych stanowią poważny problem podczas ich eksploatacji oraz niekorzystnie oddziałują na trwałość maszyn i urządzeń, a także na dokładność realizacji złożonych trajektorii ruchu elementów wykonawczych. Zagadnienia te są bardzo istotne przy projektowaniu i użytkowaniu m.in. manipulatorów i robotów, środków transportu. Jednym ze skutecznych sposobów sterowania drganiami i ich minimalizacji jest zastosowanie aktywnych lub półaktywnych układów redukcji drgań. Aktualny poziom techniki pozwala w sposób aktywny, z wykorzystaniem układów sterowania, istotnie zmniejszyć amplitudy drgań w szerokim zakresie częstotliwości. Jednakże takie rozwiązanie jest kosztowne, gdyż szerokopasmowy układ sterowania wymaga dużej ilości energii.

Aktualnie można zaobserwować częste próby zastosowania w układach sterowania regulatorów opartych na bazie wiedzy. Klasyczne metody syntezy regulatorów w układach mechanicznych bazują na linearyzacji modelu matematycznego układu w otoczeniu punktu pracy. Podejście takie nie pozwala na wykorzystanie dla celów jego syntezy wiedzy o zjawiskach nieliniowych występujących w obiekcie sterowania oraz nie uwzględnia niestacjonarności parametrów obiektu.



Dlatego też problem ten jest wciąż otwarty i aktualny dzięki coraz nowszym układom sterowania bazującym np. na logice rozmytej czy sieciach neuronowych. Zastosowanie w pętli sprzężenia zwrotnego systemu sterowania regulatora rozmytego pozwoli na poprawę jakości sterowania obiektami nieliniowymi z dużymi opóźnieniami czasowymi.

Można, więc uznać, że problematyka, którą podjął Doktorant spełnia oczekiwania, jakie wiązać można z tematem pracy doktorskiej. Jest stosunkowo mało poznana, interesująca i wkomponowuje się w współczesne trendy badawcze. Jej wyniki mogą być użyteczne przy projektowaniu nowych rozwiązań układów sterowania obiektami nieliniowymi i niestacjonarnymi w tym również układów napędowych.

W nurcie tej problematyki znajduje się rozprawa doktorska mgr inż. Krzysztofa Kawlewskiego. Służy ona udowodnieniu tezy, że zastosowanie regulatora rozmytego poprawi wskaźniki jakości sterowania układu napędowego suwnicy.

2.Ocena merytoryczna.

Rozprawa ma wysoki poziom merytoryczny. Poszczególne rozdziały są ułożone w logiczną kolejność, a zawarte w nich treści są proporcjonalne do wagi prezentowanej w nich problematyki.

Zawartość rozprawy została ujęta w 9 rozdziałach na 96 stronach a zamyka ją spis rysunków i wykaz 82 pozycji literatury. Tradycyjnie rozdziały 1 do 5 zawierają usystematyzowane wprowadzenie do prezentowanych zagadnień sterowania układami mechanicznymi.

W kolejnych rozdziałach pracy, które mogą związać z własnym dorobkiem naukowym Doktoranta przedstawiona została metodologia i sposób modelowania układu mechatronicznego z opisem przyjętych założeń upraszczających. Opracowane modele oraz algorytmy obliczeń numerycznych zastosowano do sterowania ruchem suwnicy portalowej. Struktura modelu suwnicy przedstawia układ elektromechaniczny ze sterowaniem wykorzystującym logikę rozmytą. Cechy dynamiczne układu wyznaczono w oparciu o przeprowadzoną wcześniej identyfikację parametrów układu rzeczywistego. Na tej podstawie określone zostały parametry modelowanego układu. Układ regulatora został opracowany w oparciu o logikę rozmytą, która posłużyła do zbudowania regulatora

rozmytego. Całość została rozwiązana jako układ MISO z dwoma wejściami i jednym wyjściem. Sygnałami wejściowymi są, informacja o błędzie położenia i kącie wychylenia, natomiast sygnałem wyjściowym jest wartość napięcia sterującego silnikiem prądu stałego. Dla tak zdefiniowanych sygnałów, określono bazę reguł wnioskowania rozmytego oraz przyjęto funkcje przynależności zbiorów rozmytych. Tak opracowana struktura regulatora realizowała przyjęte założenia, jednakże jakość pracy układu była niska i nie optymalna. W celu polepszenia jakości pracy zaproponowano przeprowadzenie optymalizacji układu sterującego.

W rozdziale 7 przedstawione zostały wyniki symulacji numerycznych. Do symulacji został wykorzystany model suwnicy utworzony w programie matlab/simulink. W ramach obliczeń numerycznych, w pierwszym etapie została przeprowadzona optymalizacja układu regulatora sterującego pracą poszczególnych napędów suwnicy, w drugim etapie zostały przeprowadzone symulacje numeryczne dla optymalnej struktury regulatora uzyskanej w pierwszym etapie. Badania symulacyjne miały na celu określenie wpływu wybranych czynników, na jakość pracy układu pod względem pozycjonowania i wytłumiania drgań.

Optymalizacja nastaw regulatora została wykonana w oparciu o metody genetyczne. W poszczególnych genach zakodowane zostały zmienne definiujące kształt funkcji przynależności zbiorów rozmytych opisujących zmienne wejściowe. Poprzez założenie, że funkcje przynależności będą miały kształt trójkątny oraz, że poszczególne trójkąty będą równoramienne oraz całość będzie symetryczna względem zera. Uzyskano zmniejszenie liczby zmiennych, niezbędnych do opisu funkcji przynależności zmiennych wejściowych, do 10. Chromosom osobnika składał się zatem z 10 genów. Jako populacja początkowa została przyjęta populacja 50 osobników. Ocena funkcji przystosowania poszczególnych osobników była wynikiem zsumowania dwóch wartości. Pierwsza wartość określała jakość wykonania zadania przemieszczania w wybraną pozycję danego członu suwnicy. Druga wartość określała poziom oscylacji ładunku w trakcie realizacji tego zadania. Aby polepszyć jakość działania i zmniejszyć liczbę pokoleń potrzebną do uzyskania osobników o wysokiej wartości funkcji przystosowania. Wprowadzona została funkcja kary, której wartość zmieniała się w zależności od czasu. Zwiększanie wartości funkcji kary w wybranych chwilach czasowych, miało na celu eliminację osobników, których parametry nie pozwalały na uzyskanie zadanej

pozycji przez elementy suwnicy, proces przemieszczania odbywał się przez zbyt długi czas lub też, oscylacje ładunku nie były odpowiednio szybko minimalizowane.

Zauważono, że wpływ wysokości, na jakiej zawieszony jest ładunek, na wynik optymalizacji miał wpływ tylko na wybrane zmienne optymalizacji. Wpływ wysokości zawieszenia ładunku, zmienianej w zakresie od 0,2m do 0,7m, na rozbieżność wartości optymalnych nastaw regulatora, był stosunkowo nie duży i wynosił dla najbardziej rozbieżnych wartości zmiennych $\pm 0,0125$. Dla pozostałych zmiennych rozbieżność była mniejsza lub bliska zeru.

Dla tak przyjętego zadania optymalizacji uzyskiwano optymalne nastawy regulatora rozmytego, który następnie posłużył do przeprowadzenia symulacji numerycznych różnych konfiguracji układu suwnicowego.

Rozdział następnym zawiera przedstawienie wyników badań laboratoryjnych z wykorzystaniem rzeczywistego modelu suwnicy, sterowanej z użyciem specjalizowanej karty rozszerzeń zainstalowanej w komputerze PC. Zastosowana karta rozszerzeń pozwala na pracę z wykorzystaniem czasu rzeczywistego podczas symulacji. Struktura układu regulacji zaimplementowana jest w postaci modelu matlab/simulink. Wygenerowane w trakcie symulacji sygnały sterujące pracą suwnicy poprzez interfejs karty, trafiają do układu wzmacniacza mocy, sterującego pracą silników suwnicy. Równocześnie odbywa się proces akwizycji sygnałów z czujników pomiarowych, mierzących aktualne położenie elementów suwnicy oraz kąta wychylenia ładunku. Z użyciem tych danych określone są wartości sygnałów układu regulatora w następnym kroku symulacji.

Trajektorię poruszania się ładunku określono na podstawie złożenia ruchów w dwóch prostopadłych kierunkach. I dla tak zadanej trajektorii przeprowadzone zostały symulacje dla różnych wariantów parametrów. Wyniki badań w postaci przebiegów zmian wybranych wielkości w czasie zostały porównane z wynikami symulacji numerycznych. Przeprowadzona została analiza otrzymanych wyników, porównywane były wartości wskaźników jakości. Uzyskane rezultaty w postaci wartości były zbieżne. Przeprowadzone zostały także symulacje dla układu sterującego bez redukcji amplitudy wychylenia kąтового ładunku, wyniki tych symulacji zostały porównane z wynikami dla działającego układu redukcji kąta wychylenia ładunku. Zastosowanie przyjętego regulatora rozmytego pozwoliło na uzyskanie 40% redukcji wartości kąta wychylenia ładunku dla pierwszego półokresu amplitudy wychylenia.

Uważam, że Autor wykazał się dużą umiejętnością korzystania z różnorodnych narzędzi i procedur związanych z projektowaniem zaawansowanych układów sterowania, prowadzeniem badań symulacyjnych i eksperymentów badawczych. Zaproponowane w rozprawie rozwiązania: zdefiniowane, opisane, oprogramowane i przetestowane mogą stanowić istotne uzupełnienie instrumentarium sterowania układów nieliniowych i niestacjonarnych i stanowią Jego własne koncepcyjne dokonania naukowe.

Z drobnych krytycznych uwag wymieniłbym poniższe:

- Temat pracy wskazuje, że Autor będzie zajmował się aktywnym sterowaniem drganiami układu napędowego, zaś jak wynika z podsumowania pracy str.84 problematyka pracy dotyczy zagadnień minimalizacji drgań transportowanego ładunku.
- Dotychczasowy stan wiedzy w zakresie problematyki pracy jest zbyt skromny.
- W rozdz. 3 Autor formułuje dwa cele pracy i pisze, że w oparciu o uzyskane algorytmy możliwa będzie aktywna redukcja drgań przy dynamicznie zmieniających się cechach układu napędowego. Na czym ta redukcja będzie polegać? oraz o jakie cechy chodzi?
- Czym różni się mechatroniczny układ napędowy od układu napędowego?
- Nieomówiony został nieczytelny dla mnie rys.6.14, na str.57.
- Na str.65 podano wzór (7.1) w którym występuje położenie x danego elementu suwnicy. Co to jest ten dany element? I dlaczego przebiegi czasowe funkcji kary przyjęto jak na rys.7.20?
- Mam również uwagi dotyczące wstępu do pracy oraz do podsumowania i wniosków końcowych, bowiem nie uwypuklają własnych osiągnięć Autora i są bardzo skromne w stosunku do dokonań.
- Czy opracowane przez Autora algorytmy mogą być stosowane w innych systemach sterowania drganiami układów mechanicznych?

Niezależnie od przytoczonych wyżej uwag zawartość rozprawy nie budzi moich zastrzeżeń Stwierdzam, że Autor wykazał swoją wiedzę w zakresie automatyki specjalności sterowanie w układach mechanicznych.

3. Ocena końcowa

Podsumowując uważam, że mgr inż. Krzysztof Kawlewski w przedłożonej rozprawie poprawnie sformułował, rozwiązał i opisał oryginalne zadanie naukowe, jakim jest identyfikacja obiektu i synteza regulatora rozmytego dla obiektu nieliniowego niestacjonarnego.

Ponadto Autor wykazał się właściwym opanowaniem zagadnień modelowania i projektowania układów sterowania oraz umiejętnościami w posługiwaniu się nowoczesną techniką eksperymentu.

Uważam, że praca zawiera wartościowy i oryginalny dorobek naukowy Autora, a zakres i poziom uzyskanych wyników badawczych odpowiada ustawowym i zwyczajowym wymaganiom stawianym rozprawom na stopień doktora nauk technicznych.

Wobec powyższego, stawiam wniosek o przyjęcie pracy i dopuszczenie mgr inż. Krzysztofa Kawlewskiego do publicznej obrony.

Wnioskuję do Rady Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej o wyróżnienie pracy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa Kawlewskiego.

