Prof. dr hab. inż. Zbigniew Krzemiński
Wydział Elektrotechniki i Automatyki
Politechnika Gdańska

Gdańsk, 12.05.2014

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Dominika Łuczaka

pt. **Zastosowanie filtrów cyfrowych w układach sterowania napędów elektrycznych o złożonej strukturze mechanicznej**

Recenzja wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Poznańskiej.

1. Tematyka rozprawy

Rozprawa dotyczy projektowania układów sterowania napędami z silnikami z magnesami trwałymi zastosowanymi do układów mechanicznych o złożonej strukturze, w których występuje rezonans dla jednej lub kilku częstotliwości. Układy takie są obecnie szeroko opisywane w literaturze. Badane są układy regulacji zapewniające tłumienie częstotliwości rezonansowych w układzie regulacji z regulatorami liniowymi. Stosowane są metody filtrowania sygnału sprzężenia zwrotnego z wykorzystaniem odpowiednio zaprojektowanych filtrów.

Zaproponowane w rozprawie rozwiązanie polegające na zastosowaniu filtra na wyjściu regulatora prędkości jest znane z literatury. Autor zbadał układy z filtrem dolnoprzepustowym, pasmowozaporowym i o odwróconej charakterystyce rezonansowej. Przeprowadzenie badań wymagało opracowania metody strojenia filtrów do częstotliwości rezonansowych. Autor opracował również metodę wyznaczania częstotliwości rezonansu mechanicznego. Otrzymane rezultaty potwierdzone badaniami symulacyjnymi i eksperymentalnymi wnoszą nową wiedzę o sposobach konstruowania podobnych rozwiązań. Praca wpisuje się dobrze w aktualny stan wiedzy i techniki w zakresie sterowania układów mechanicznych z rezonansami.

Zagadnienia przedstawione w rozprawie są aktualne pod względem naukowym i posiadają ważne znaczenie praktyczne.

2. Ogólna analiza merytoryczna rozprawy

Autor w bardzo ogólny sposób przedstawił cel rozprawy nie formułując zagadnienia naukowego, które jest rozwiązane. Bardziej konkretna jest teza pracy „Układ sterowania z przestrajalnym filtrem cyfrowym dla napędu elektrycznego o złożonej strukturze mechanicznej jest odporny na zmiany parametrów". Można przyjąć, że chodzi o parametry określające częstotliwości rezonansowe układu mechanicznego.

Pomimo dużej liczby publikacji dotyczących zagadnień zbliżonych do rozważań przedstawionych w rozprawie przegląd literatury został zaprezentowany badzo wąsko. Autor skomentował jedynie problemy bezpośrednio związane z zakresem badań.

Bardzo szczegółowo i raczej niepotrzebnie zostały przedstawione modele układów dwu- i wielomasowych z połączeniami sprężystymi. Wystarczyło podanie modelu dla układu wilomasowego w ogólnej postaci.

Autor przedstawił parametryczną i nieparametryczną metodę identyfikacji obiektu, wybierając tę ostatnią jako podstawę badań. Identyfikacja parametryczna wymaga określenia struktury obiektu i analizy zjawisk fizycznych, które w nim występują. Określenie struktury obiektu i wskazanie przyczyny rezonansu byłoby wskazane ze względu na prawidłowa interpretację wyników badań eksperymentalnych. Brak dokładnej analizy wpłynął na interpretację wyników badań eksperymentalnych podanych w podrozdziale 6.3. Wyraźnie widać, że oscylacje w przebiegach prędkości nie są w układzie napędowym tłumione. Częstotliwość oscylacji wynosi około 75 Hz. Autor nie wskazał, które elementy układu mechanicznego powodują powstanie oscylacji o takiej częstotliwości, zwłaszcza przy bardzo małej prędkości kątowej. Można przypuszczać, że oscylacje mają charakter drgań ciernych wywoływanych zastosowaniem hamulca. Brak jest w rozprawie innych wyników, które mogłyby potwierdzić charakter oscylacji.

Szczegółowo zostały przedstawione metody analizy częstotliwościowej zastosowanej do badania układu mechanicznego. Zastosowano znane metody wymuszania odpowiedzi na sygnał harmoniczny o stałej częstotliwości, sygnał o częstotliwości narastającej oraz o częstotliwości losowej. Pokazano metodę wyznaczania charakterystyki Bodego, transformaty Fouriera i transformaty falkowej. Autor opisał znane algorytmy.

Istotną częścią rozprawy jest zastosowanie filtrów o określonych charakterystykach. W rozprawie zamieszczono wyprowadzenia oraz końcowe wyrażenia określające dyskretną postać wybranych filtrów zastosowanych w układzie regulacji. Przytoczone zostały algorytmy

wyznaczania widma sygnału, znane z literatury i dostępne w materiałach informacyjnych wydanych przez firmę Analog Devices wytwarzającą procesory sygnałowe. Jeden z tych procesorów został zastosowany w układzie eksperymentalnym. Autor nie podał, czy w układzie mikroprocesorowym zostały wykorzystane firmowe algorytmy, np. Radix-2, w którym zastosowany jest specjalny sposób adresowania danych z wykorzystaniem metody „bit-reversed", wspomagany rozwiązaniem sprzętowym.

Nasuwa się tutaj komentarz do sposobu programowania mikroprocesora z opisanym przez Autora wykorzystaniem języka C++ i programowania obiektowego. Przy złożonych algorytmach taki sposób programowania może prowadzić do programów o długim czasie wykonywania. Czy Autor rozważał zastosowanie prostszych struktury programowych z wykorzystaniem biblioteki dostarczonej przez producenta procesora, w tym wspomnianego algorytmu Radix-2?

Oryginalnym osiągnięciem Autora jest zastosowanie filtrów przestrajalnych do filtracji częstotliwości rezonansu mechanicznego. Autor uzyskał bardzo dobre rezultaty w postaci algorytmów dostrajających filtry. Badania symulacyjne w pełni potwierdziły prawidłowość opracowanych algorytmów. Autor ocenił działanie układów z różnymi typami filtrów, nie odniósł się jednak bezpośrednio do wyników pokazanych 4.20 – 4.31. Nie został określony cel zastosowania filtrów, nie napisano, czy tłumienie dotyczy prędkości ω_m czy ω_L.

Wyniki badań symulacyjnych zostały przedstawione w sposób jasny i czytelny. Nie można powiedzieć tego o wynikach badań eksperymentalnych. Rysunek 6.21 jest nieczytelny, kanały 1 i 2 pokrywają się i nie można określić, jakie są przebiegi sygnałów. Przyjęcie metody rejestracji wyników za pomocą oscyloskopu mierzącego wyjścia przetworników cyfrowo-analogowych nie jest, jak widać w pracy, dobrym rozwizaniem technicznym. Lepsze efekty daje bezpośrednia rejestracja zmiennych dostępnych w układzie mikroprocesorowym.

3. Uwagi redakcyjne

Rozprawa jest napisana dobrym językiem technicznym. Autor nie ustrzegł się nielicznych pomyłek literowych i interpunkcyjnych. Niektóre fragmenty tekstu dotyczące zagadnień dla różnych filtrów są niepotrzebnie powtarzane i mogły być skrócone przy innym opracowaniu redakcyjnym.

6. Ocena ogólna i wniosek końcowy

Autor wykazał dużą wiedzę teoretyczną z zakresu elektrotechniki i automatyki oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, zwłaszcza badań symulacyjnych i eksperymentalnych, co świadczy o spełnieniu wymagań stawianych przy nadawaniu stopnia naukowego doktora.

Uwagi krytyczne przedstawione wyżej mają charakter dyskusyjny i nie pomniejszają wartości pracy. Autor rozwiązał samodzielnie postawione problemy naukowe i wykazał ogólną wiedzę w zakresie automatyki i robotyki. Stwierdzam, że praca spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim określone w Art. 13.1 Ustawy z dnia 18 marca 2011 r. o zmianie ustawy – Prawo o szkolnictwie wyższym, ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki oraz o zmianie niektórych innych ustaw i stawiam wniosek o dopuszczenie do publicznej obrony.

(prof. dr hab. inż. Zbigniew Krzemiński)