

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgr. inż. Rafała Nowaka
pt. „Analiza wrażliwości asynchronicznych napędów trakcyjnych sterowanych
wektorowo na zmiany parametrów”.

1. Temat i zakres rozprawy

Oceniana rozprawa, jak wskazuje to jej tytuł, poświęcona jest napędom trakcyjnym sterowanym wektorowo, w których spodziewać się można zmian parametrów lub ich niedokładnej identyfikacji. Sterowanie wektorowe napędów asynchronicznych zapewnia dobrą dynamikę regulacji prędkości jednak pod warunkiem precyzyjnej informacji o położeniu wektora strumienia skojarzonego z uzwojeniem wirnika bądź stojana i położeniu wektora prądu stojana. Chwilowe położenie kątowe wektora strumienia magnetycznego trudno jest pomierzyć w warunkach przemysłowych stąd powszechnie stosuje się metody estymacji. Do estymacji tej wykorzystuje się symulatory zmiennych stanu, obserwatory zmiennych stanu, filtry Kalmana czy też estymatory neuronowe. Dokładność estymacji położenia kąтового wektora strumienia magnetycznego jest kluczowa dla uzyskania oczekiwanych dobrych właściwości regulacyjnych. Dokładność ta zwłaszcza w przypadku estymacji za pomocą symulatora zmiennych stanu zależy silnie od zgodności przyjętych parametrów modelu silnika wykorzystanego w symulatorze z parametrami układu rzeczywistego. Z tego powodu analiza wrażliwości napędu z silnikiem asynchronicznym sterowanym wektorowo na zmiany parametrów lub ich niedokładną identyfikację jest bardzo ważnym i aktualnym zagadnieniem badawczym. Wyniki takiej analizy mogą dać odpowiedź, która ze struktur sterowania wektorowego jest bardziej odporna na zmiany lub złe oszacowanie parametrów co stanowi ważny problem poznawczym i ma duże znaczenie praktyczne.

Zakres przeprowadzanych w rozprawie badań uszczegóławiają dwie postawione tezy.

„Teza 1. Dla rozważanych w rozprawie zmian parametrów modelu silnika sterowanie połowo-zorientowane i sterowanie prądowo-zorientowane mogą być uznane za w pełni równoważne sobie tylko w stanach statycznych, a w stanach dynamicznych równoważność pozostaje zachowana jedynie przy zmianach rezystancji wirnika.”

„Teza 2. Wpływ zmian wartości indukcyjności głównej na przebieg momentu wewnętrznego silnika w stanach dynamicznych charakteryzuje się krótszym czasem trwania procesów przejściowych przy sterowaniu prądowo-zorientowanym zaś mniejszym przeregulowaniem przy sterowaniu polowo-zorientowanym klasycznym, wykorzystującym obserwator strumienia wirnika. Sterowanie polowo-zorientowane oparte na stymulatorze strumienia wirnika przy zmianach indukcyjności głównej jest najmniej korzystnym rodzajem sterowania.”

Należy z przekonaniem stwierdzić, że tak postawione tezy i przyjęty cel pracy mieszczą się w aktualnej tematyce badawczej, którą zajmuje się wiele ośrodków naukowych.

2. Charakterystyka rozprawy

Opiniowana rozprawa obejmuje łącznie 93 strony i podzielona jest na pięć rozdziałów, wykaz literatury oraz wykaz ważniejszych oznaczeń i załączniki. Rozdział pierwszy stanowi wprowadzenie, charakteryzujące tematykę rozprawy na tle przeglądu publikowanych z tego zakresu prac, oraz formułujące cel i tezy rozprawy. W rozdziale drugim omówiono nie tylko, jak sugeruje to tytuł rozdziału, modele matematyczne silnika indukcyjnego ale także zasady syntezy układu sterowania wektorowego prądowo-zorientowanego i polowo-zorientowanego, które poddane zostały analizie wrażliwości. Ważny w rozprawie jest rozdział trzeci poświęcony w zasadniczej części wyznaczeniu analitycznemu modeli wrażliwości na zmianę wybranych parametrów modelu silnika. Modele te wyznaczono dla wytypowanych wcześniej struktur sterowania wektorowego. W rozdziale czwartym zamieszczono i omówiono wyniki badań symulacyjnych nad wrażliwością analizowanych struktur sterowania na zmiany parametrów takich jak rezystancja uzwojenia wirnika i indukcyjność główna. W drugiej części rozdziału przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych, potwierdzających wnioski z badań symulacyjnych. Uzyskane rezultaty rozprawy oraz wnioski końcowe zostały syntetycznie omówione w rozdziale piątym. W końcowej części rozprawy zamieszczono wykaz literatury oraz załączniki zawierające opis opracowanych modeli symulacyjnych w programie PSIM oraz opis stanowiska laboratoryjnego.

Rozprawa jest napisana starannie, poprawnym językiem, zawiera właściwy układ i kolejność rozdziałów oraz układ graficzny a także odpowiednio opracowane wykresy i ilustracje.

3. Główne rezultaty rozprawy

Recenzowana rozprawa stanowi oryginalne opracowanie analizy wrażliwości układu sterowania wektorowego silnikiem indukcyjnym na zmiany wybranych parametrów silnika. W

szczególności analizowano wpływ zmian rezystancji wirnika oraz indukcyjności głównej (magnesującej).

Podstawowym wartościowym wynikiem tej rozprawy jest przeprowadzona ocena wrażliwości wytypowanych struktur regulacyjnych i ich porównanie, co może stanowić rekomendację dla ich stosowania. Autor zaprojektował analizowane układy sterowania, przeprowadził stosowne badania symulacyjne a następnie zestawił i uruchomił stanowisko laboratoryjne z układem mikroprocesorowym, realizującym opracowane algorytmy oraz wykonał szereg badań porównawczych. Na końcowy rezultat rozprawy składa się rozwiązanie szeregu zadań cząstkowych, stanowiących oryginalny i wartościowy wynik rozprawy.

Do tych oryginalnych i wartościowych wyników zaliczyć można:

- Opracowanie analitycznych modeli wrażliwości badanych struktur sterowania;
- Zaprojektowanie analizowanych układów sterowania wektorowego;
- Opracowanie modeli do badań symulacyjnych w programie PSIM;
- Przygotowanie stanowiska laboratoryjnego, zawierającego silnik indukcyjny klatkowy zasilany z przekształtnika oraz układ sterowania z procesorem sygnałowym a następnie-zaimplementowanie opracowanych algorytmów i uruchomienie układu;
- Ocena wrażliwości analizowanych układów na zmiany rezystancji wirnika i indukcyjności głównej, która może stanowić istotny argument dla ich rekomendacji do praktycznych zastosowań.

Przeprowadzenie omówionych rozważań teoretycznych, badań symulacyjnych, prac projektowo-konstrukcyjnych i badań eksperymentalnych dowodzi, że Autor posiadał w dostatecznym stopniu ogólną wiedzę teoretyczną a także i praktyczną w dyscyplinie naukowej „Automatyka napędu elektrycznego”. Rozwiązał samodzielnie postawione zagadnienie naukowe, odpowiednio sformułował założenia, wybrał i zastosował właściwe metody teoretyczne i doświadczalne oraz udokumentował to wynikami zamieszczonymi w rozprawie.

4. Ważniejsze uwagi krytyczne i dyskusyjne.

Wśród wielu ciekawych rezultatów rozprawy można zauważyć także pewne zagadnienia dyskusyjne, które należałoby poruszyć w trakcie publicznej obrony.

- 1) Ważnym wynikiem rozprawy jest opracowanie analitycznych modeli wrażliwości wytypowanych struktur sterowania. Niestety w rozprawie brak jest porównania

wyników otrzymanych na podstawie tych modeli z wynikami badań symulacyjnych - stąd trudno jest ocenić ich wartość.

- 2) Autor wytypował do analizy wrażliwości takie warianty sterowania wektorowego, w których istotną rolę odgrywa model silnika (symulator), co sprawia, że wpływ zmian parametrów silnika na jakość sterowania jest duża. W jednej ze struktur zastosowano, według opisu Autora, obserwator Luenbergera (strona 16). Przyjęty jednak w tym rozwiązaniu układ estymacji nie jest jednak obserwatorem, gdyż nie ma w jego strukturze charakterystycznego dla obserwatora porównania zmierzonych i estymowanych zmiennych wyjściowych (najczęściej prądów stojana), których różnica pozwala na wprowadzenie funkcji korekcji poprawiającej dokładność estymacji. Brak analizy wrażliwości dla układu z obserwatorem obniża wartość rozprawy, gdyż można się spodziewać, że układ sterowania z obserwatorem byłby znacznie mniej wrażliwy na zmiany parametrów niż układy wykorzystujące symulator.
- 3) Analizę wrażliwości stanów dynamicznych Autor przedstawił jako reakcje układu sterowania na skokową zmianę wybranego parametru silnika, która wywoływała ten stan dynamiczny. Wydaje się, że równie ważna a zapewne o większym znaczeniu praktycznym byłaby by ocena wpływu zmian (odstępstwa) parametrów silnika w typowych dla napędu stanach dynamicznych, takich jak rozruch czy odpowiedź na skokową zmianę momentu oporowego.

Ważniejsze uwagi redakcyjne.

- Wydaje się, że można było przegląd metod sterowania wektorowego silnikiem indukcyjnym, zawarty w rozdziale 3.1 umieścić w rozdziale 2, co stanowiło by dobre wprowadzenie do syntezy wybranych układów sterowania podanej w rozdziałach 2.2 i 2.3.
- Rysunek 2.5 na str. 16 jest zbyt uproszczony, aby ocenić, że blok nazwany obserwatorem pełni rzeczywiście taką rolę. Opis matematyczny tego obserwatora (wzory (2.36) - (2.42)) przeczy tej nazwie.
- Na rysunku 2.6 nie ma obserwatora jak sugeruje to jego podpis.

5. Wniosek końcowy

Opiniowana rozprawa mgr. inż. Rafała Nowaka pt. „**Analiza wrażliwości asynchronicznych napędów trakcyjnych sterowanych wektorowo na zmiany parametrów**” stanowi oryginalne i samodzielne rozwiązanie ważnego problemu badawczego.

Uważam, że oceniana rozprawa mimo, że Autor nie ustrzegł się pewnych uchybień, spełnia wymagania obowiązującej ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i dlatego należy uznać ją za rozprawę doktorską i dopuścić do publicznej obrony.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'H. J. G.' or similar, written in a cursive style.