



Politechnika Wroclawska

Katedra Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Analiza predykcyjnych metod sterowania napędami z  
silnikami indukcyjnymi

mgr inż. Karol Wróbel

Promotor: prof. dr hab. inż. Krzysztof Szabat

Promotor pomocniczy: dr inż. Piotr Serkies

W pracy przedstawiono zagadnienia predykcyjnego sterowania przekształtnikowymi układami napędowymi z silnikami indukcyjnymi. W szczególności przeanalizowano możliwość zastosowania algorytmów z ciągłym i skończonym zbiorem rozwiązań do regulacji wybranych zmiennych stanu. Sprawdzone także wpływ poszczególnych parametrów projektowych opracowanych struktur na jakość sterownia. Zawartość pracy opisano poniżej.

Rozprawa składa się z siedmiu rozdziałów uzupełnionych wykazem literatury i trzema załącznikami. Rozdział pierwszy zawiera informacje wstępne oraz przegląd literatury z zakresu sterowania predykcyjnego i układów napędowych z silnikiem indukcyjnym. Sformułowano w nim także cele, tezy i zakres pracy.

W rozdziale drugim przedstawiono ewolucję algorytmów predykcyjnych, omówiono także podział tego typu układów na generacje. Wyróżniono także kierunki rozwoju tego typu rozwiązań, w tym algorytmy bazujące na histerezie, trajektorii i modelu. W kolejnej części tego rozdziału szczegółowo przedstawiono zagadnienie sterowania predykcyjnego w dyskretnej przestrzeni stanu oraz omówiono klasyfikację tego typu algorytmów, wyróżniając podział ze względu na rozważany zbiór rozwiązań, długość horyzontu oraz sposób rozwiązania problemu optymalizacji. Następnie omówiono zagadnienia stabilności, realizowalności oraz złożoności obliczeniowej algorytmów predykcyjnych.

W rozdziale trzecim przedstawiono modele matematyczne obiektów badań, w tym silnika indukcyjnego, przekształtnika oraz układów z połączeniem sprzężystym. Omówiono także klasyczną strukturę sterowania polowo-zorientowanego DFOC.

W rozdziale czwartym przedstawiono elementy składowe stanowiska do badań eksperymentalnych. Stanowisko składa się z dwóch silników indukcyjnych, dwóch falowników, układów pomiarowych, karty szybkiego prototypowania dSpace oraz komputera.

W rozdziale piątym przedstawiono struktury sterowania wykorzystujące algorytm predykcyjny ze skończonym zbiorem rozwiązań. Zaprezentowano regulatory prędkości (w układzie jedno- i dwumasowym) i położenia strukturalnie zbliżone do układu polowo-zorientowanego, przy czym występujące w tym układzie regulatory PI zastąpiono jednym regulatorem predykcyjnym. Podczas badań przeanalizowano w jaki sposób jakość regulacji zależy od poszczególnych parametrów projektowych regulatora, w tym od horyzontów predykcji wyjść i sterowań oraz wartości elementów macierzy wagowych. Sprawdzone także możliwość ograniczenia złożoności obliczeniowej opracowanych regulatorów poprzez zastosowanie metod redukcji obszarów i metod przeszukiwania zbioru rozwiązań z wykorzystaniem drzew binarnych. W ostatniej części rozdziału przedstawiono wybrane wyniki badań eksperymentalnych, potwierdzające poprawność działania opracowanych struktur sterowania.

W rozdziale szóstym zaprezentowano struktury sterowania predykcyjnego wykorzystujące skończony zbiór rozwiązań, które w procesie przewidywania biorą pod uwagę wyłącznie wektory sterujące dostępne bezpośrednio (bez wykorzystania modulatora) w falowniku. Opracowano regulatory momentu oraz prędkości. Podobnie jak w przypadku układów z ciągłym zbiorem rozwiązań, przeanalizowano wpływ wybranych parametrów projektowych regulatora na jakość regulacji. W szczególności sprawdzono wpływ horyzontu predykcji, wartości współczynników wagowych oraz postaci funkcji celu. Ze względu na występujące w układzie stałe czasowe oraz zakres zmienności poszczególnych zmiennych, a także pewne cechy specyficzne tego typu sterowania istnieje szereg problemów związanych z zastosowaniem algorytmów predykcyjnych ze skończonym zbiorem rozwiązań do regulacji układów napędowych z silnikiem indukcyjnym, w szczególności do regulacji prędkości. W tej części pracy przedstawiono te problemy i zaproponowano pewne rozwiązania algorytmiczne pozwalające uniknąć konsekwencji pominięcia pewnych aspektów podczas projektowania struktury regulacji. W szczególności zaproponowano, w celu zapewnienia poprawnej stabilizacji obu regulowanych zmiennych (strumienia stojana i prędkości), skalowanie współczynników wagowych kwadratowej funkcji celu zależne od uchybu prędkości. Natomiast w kwestii zmniejszenia oscylacji momentu w stanie ustalonym opracowano układ z dwiema strefami regulacji. W ostatniej części przedstawiono wybrane wyniki badań eksperymentalnych potwierdzające wyniki badań symulacyjnych.

W ostatnim rozdziale pracy przedstawiono podsumowanie przeprowadzonych badań oraz przegląd najważniejszych osiągnięć niniejszej pracy.

W załączniku 1 przedstawiono kaskadową strukturę sterowania prędkością w układzie dwumasowym składającą się z dwóch regulatorów predykcyjnych: nadrzędnego regulatora prędkości (z ciągłym zbiorem rozwiązań CCS-MPC) i podporządkowanego regulatora momentu (ze skończonym zbiorem rozwiązań FCS-MPC). W wewnętrznej pętli sterowania wykorzystano regulator przedstawiony w rozdziale 6.2. Natomiast regulator w zewnętrznej pętli wykorzystuje model układu dwumasowego. W rozdziale przedstawiono wyniki badań symulacyjnych.

W załączniku 2 przedstawiono porównanie predykcyjnych struktur regulacji prędkości ze skończonym i ciągłym zbiorem rozwiązań z klasyczną strukturą sterowania polowozorientowaną DFOC.

W Załączniku 3 zawarto badania dotyczące odporności układów regulacji na błędy oszacowania lub zmiany parametrów układu napędowego.

02.07.2017

Urdu