

Warszawa, 20.08.2017

Dr hab. inż. Mariusz Malinowski, prof. PW

Politechnika Warszawska/ Wydział Elektryczny

Instytut Sterowania i Elektroniki Przemysłowej

Ul. Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

DLA RADY WYDZIAŁU ELEKTRYCZNEGO POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ

Tytuł rozprawy: **Metody diagnostyki i sterowania w napędach elektrycznych z silnikami indukcyjnymi w stanach awaryjnych dwupoziomowego przemiennika częstotliwości**

Autor rozprawy: **mgr inż. Piotr Sobański**

1. Wstęp

Rozprawa doktorska przygotowana przez mgr inż. Piotra Sobańskiego poświęcona jest diagnostyce i sterowaniu dwupoziomowego przekształtnika MSI zasilającego silnik indukcyjny oraz pracującemu jako prostownik aktywny. Tematyka związana jest dynamicznym rozwojem układów energoelektronicznych i ich powszechnym zastosowaniem w układach przetwarzania energii elektrycznej. Pomimo wielu ugruntowanych już rozwiązań dotyczących topologii i sterowania w układach przekształtnikowych, w ostatnich latach poszukuje się intensywnie skutecznych metod identyfikacji uszkodzeń i możliwości rekonfiguracji układów po wystąpieniu awarii w celu zapewnienia ich nieprzerwanej pracy. Są to rozwiązania badane przez czołowe ośrodki uniwersyteckie i pożądane przez przemysł. Dlatego wybór tematu rozprawy uważam za oryginalny i niezwykle aktualny.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Celem rozprawy było opracowanie, weryfikacja symulacyjna i eksperymentalna metod diagnostyki i sterowania dla dwupoziomowego przekształtnika MSI pracującego, jako falownik w napędzie z silnikiem indukcyjnym oraz jako prostownik aktywny. Ponadto

założono również przeprowadzenie porównania zaproponowanych metod diagnostyki pod kątem skuteczności działania i czasu lokalizacji uszkodzenia.

Licząca 162 strony rozprawa składa się z 8 rozdziałów, spisu literatury i 2 załączników. Rozdział pierwszy stanowi wprowadzenie wraz z opisem przedmiotu badań. W rozdziale 2 dokonano przeglądu wielu istniejących metod diagnostyki awarii tranzystorów w przekształtniku dwupoziomowym pracującym jako falownik i nielicznych znanych metod diagnostyki dla prostowników aktywnych. W rozdziale tym dokonano również klasyfikacji i podziału metod znanych z literatury. Rozdział 3 omawia podstawowe topologie przekształtników zasilanych ze źródła napięcia z funkcją rekonfiguracji po wystąpieniu awarii. Podstawowym kryterium wyboru z pośród licznych układów znanych z literatury była prostota i minimalizacja zastosowanych elementów aktywnych. Ponadto omówiono zagadnienia modulacji tych przekształtników i aspektu wyrównywania napięć na kondensatorach w obwodzie prądu stałego, co jest istotne do zapewnienia jak najlepszej funkcjonalności po wystąpieniu awarii jednego z łączników. Następnie w rozdziale 4 przeanalizowano wpływ utraty łączników w topologii przekształtnika trójfazowego dwupoziomowego (6T) na zdolność prawidłowego wytwarzania napięcia wyjściowego w przypadku rekonfiguracji do uproszczonego przekształtnika (4T). W rozdziale tym zaproponowano również dwa algorytmy diagnostyki uszkodzenia tranzystorów dla falownika (metoda bazująca na analizie zadanego napięcia falownika oraz metoda bazująca na analizie strumienia silnika indukcyjnego) jak również dwa algorytmy diagnostyki uszkodzenia w prostowniku aktywnym (metoda bazująca na estymacji napięcia sieci zasilającej oraz metoda bazująca na predykcji prądu sieci zasilającej). Rozdziały 5 i 6 poświęcone są weryfikacji skuteczności działania algorytmów diagnostyki awarii tranzystorów w różnych warunkach pracy w celu doboru kryteriów detekcji, które uniemożliwiają powstawaniu fałszywych alarmów. W przypadku falownika napięcia zasilającego silnik indukcyjny skuteczność działania algorytmów detekcji przebadano zarówno symulacyjnie jak i eksperymentalnie dla dwóch najpowszechniej stosowanych metod sterowania tj. DTC-SVM jak i DRFOC-SVM. Dla prostownika aktywnego również symulacyjnie i eksperymentalnie potwierdzono skuteczność zaproponowanych algorytmów detekcji awarii w zastosowaniu do metody sterowania VOC. We wszystkich badanych przypadkach zaproponowane rozwiązania potwierdziły swoje prawidłowe działanie. W kolejnym rozdziale 7 zaprezentowano wybrane wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych potwierdzające poprawność działania zaproponowanej

metody modulacji po wystąpieniu i zdiagnozowaniu awarii łącznika oraz pokazano pracę pełnej struktury sterowania silnikiem indukcyjnym, w której tolerowane są awarie tranzystorów. Rozprawę kończy rozdział 8 stanowiący podsumowanie i definiujący oryginalny wkład własny Autora.

Ponadto dołączono spis literatury obejmujący 109 pozycji oraz dwa załączniki (A – Metody sterowania napędami elektrycznymi z silnikiem indukcyjnym, B – Sposób obliczania czasów załączeń tranzystorów w przypadku modulacji wyjściowego napięcia falownika na przykładzie zdiagnozowanej awarii w fazie A.

3. Uwagi ogólne

Zagadnienia identyfikacji uszkodzeń w układach energoelektronicznych nie są łatwe i stanowią aktualnie przedmiot intensywnych badań prowadzonych zarówno w kraju jak i za granicą. Dlatego godnym podkreślenia jest, że Autor opiniowanej rozprawy podjął się tej złożonej i trudnej tematyki.

Do uwag dyskusyjnych natury ogólnej, jakie nasunęły się w czasie studiowania rozprawy należą:

1. Proszę o wyjaśnienie jak rozumiane jest przez Autora prawidłowe działanie układu, przedstawionego na rys. 3.2 i opisanego na stronie 47, w sytuacji gdy traki nie przewodzą prądu (są wyłączone)?
2. W rozdziale 3.2 opisującym topologię przedstawioną na rys. 3.3, umożliwiającą rekonfigurację falownika w przypadku awarii (z 6T do 4T), skupiono się na pewnych trudnościach z tym związanych tj. braku możliwości wytworzenia wektora zerowego (realizuje się to w układzie 4T w sposób sztuczny poprzez wybór dwóch wektorów aktywnych) oraz konieczności wyrównywania napięć na kondensatorach obwodu prądu stałego, co jest konieczne do prawidłowej pracy układu. Brak jest jednak szerszego omówienia innego ograniczenia, które jest związane z niższym napięciem międzyfazowym występującym pomiędzy fazą dołączoną do środka obwodu kondensatorowego, a fazą dołączoną do sprawnej gałęzi tranzystorowej. Proszę o rozwinięcie tego zagadnienia i związanych z tym ograniczeń dla falownika zasilającego silnik indukcyjny jak również prostownika aktywnego.

3. Czy możliwa jest prawidłowa praca metody identyfikacji uszkodzenia łącznika w prostowniku aktywnym przedstawiona w rozdziale 4.3.1 bez czujników pomiaru napięcia w sieci elektroenergetycznej?
4. Proszę o szersze wyjaśnienie, dlaczego badania eksperymentalne dla prostownika aktywnego przedstawione w rozdziale 6 były wykonane dla bardzo niskich wartości napięć. Uniemożliwiło to pokazanie w rozdziale 7 pracy pełnego układu napędowego uwzględniającego również prostownik aktywny.

5. Ocena rozprawy

Opiniowana rozprawa doktorska ma charakter analityczno-eksperymentalny. Autor wykazał się bardzo dobrą znajomością energoelektroniki, technik symulacji komputerowej oraz starannością w badaniach eksperymentalnych. Osiągnął sformułowany przez siebie cel, posługując się metodami analitycznymi, symulacyjnymi oraz eksperymentalnymi. Rozprawa napisana jest bardzo starannie, a stosowana terminologia jest również prawidłowa. Praca w stosunku do stanu wiedzy z tej dziedziny wnosi szereg nowych sformułowań i wartościowych wyników stanowiących osobisty dorobek Autora.

Za osiągnięcia własne Autora uznaję:

- opracowanie oraz weryfikację symulacyjną i eksperymentalną dwóch nowych algorytmów detekcji awarii tranzystorów w prostowniku aktywnym;
- opracowanie oraz weryfikację symulacyjną i eksperymentalną dwóch nowych algorytmów detekcji awarii tranzystorów w falowniku napięciowym zasilającym silnik indukcyjny;
- opracowanie oraz weryfikację symulacyjną i eksperymentalną nowego algorytmu modulacji napięcia w falowniku, w którym uległ awarii łącznik tranzystorowy.

6. Wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa przedstawiona przez mgr inż. Piotra Sobańskiego pt. „**Metody diagnostyki i sterowania w napędach elektrycznych z silnikami indukcyjnymi w stanach awaryjnych dwupoziomowego przemiennika częstotliwości**”, stanowi poważny i

samodzielny wkład doktoranta w obszarze detekcji uszkodzeń tranzystorów w przekształtnikach energoelektronicznych pracujących zarówno, jako falowniki jak i prostowniki aktywne.

Na tej podstawie stwierdzam, że **przedstawiona rozprawa doktorska odpowiada wszystkim warunkom określonym przez obowiązującą ustawę o stopniach i tytułach naukowych i stawiam wniosek o jej dopuszczenie do publicznej obrony.**



Mariusz Malinowski