

Opole, 30.11.2015 r.

Prof. dr hab. inż. Marian Łukaniszyn
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
Politechnika Opolska



Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Henryka Krawca

**pt.: "Odporność układów elektromechanicznych z silnikami prądu
przemiennego na zapady napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu "**

wykonanej pod kierunkiem prof. AGH dr hab. inż. Z. Głowacza

Opinia opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Inżynierii
Biomedycznej, AGH w Krakowie z dnia 24 września 2015 r.

1. Ocena wyboru tematu rozprawy

Praca doktorska "Odporność układów elektromechanicznych z silnikami prądu przemiennego na zapady napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu" dotyczy aktualnej i rozwijanej w ostatnich latach problematyki eksploatacji maszyn elektrycznych i ich odporności na zapady napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu. Tematyka ta jest od wielu lat rozwijana przez ośrodki naukowe oraz wyspecjalizowane firmy. Na tym tle przedstawiona do oceny praca jest wartościowa, gdyż precyzyjnie definiuje problemy odporności silników asynchronicznych na zapady napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu i próbuje podać nowatorskie sposoby ich rozwiązywania.

Niniejsza praca doktorska jest kontynuacją zagadnień, którymi Autor zajmuje się od początku Swojej pracy naukowej.

Ośrodek Krakowski (Zespół prof. Z. Głowacza) jest jednym z nielicznych w kraju, który od kilkunastu lat realizuje w sposób ciągły badania z tej obszernej i ciekawej problematyki.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska znajduje się w głównym nurcie zagadnień związanych badaniem układów elektromechanicznych z silnikami indukcyjnymi prądu przemiennego i ich odpornością na zapady i krótkie przerwy w zasilaniu. Obejmuje złożone interdyscyplinarne zagadnienie naukowe, o dużym praktycznym znaczeniu. Stanowi, zatem właściwy temat dla rozprawy doktorskiej. Reasumując stwierdzam, że praca badawcza mgr inż. **Henryka Krawca** doprowadziła do powstania użytecznej i skutecznej metody poprawy odporności układów elektromechanicznych z silnikami indukcyjnymi prądu przemiennego na zapady napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu.

Tematykę rozprawy uważam więc za aktualną i nowoczesną. Szerokie spektrum problemów, które pojawiły się w trakcie wykonywania badań, jak również aktualność tematyki z punktu widzenia technicznego gwarantują, że badania mogą być kontynuowane w przyszłości.

2. Cel i teza naukowa rozprawy

Praca Pana mgr inż. **Henryka Krawca** jest wynikiem systematycznych studiów nad zagadnieniem analizy układów elektromechanicznych z silnikami indukcyjnymi prądu przemiennego i problemów związanych z ich odpornością na zapady i krótkie przerwy w zasilaniu.

Przedmiotem pracy jest opracowanie użytecznej i skutecznej metody poprawy odporności układów elektromechanicznych z silnikami indukcyjnymi prądu przemiennego na zapady i krótkie przerwy w zasilaniu oraz zaprojektowanie i wyposażenie stanowiska pomiarowego. Przeprowadzone badania powinny umożliwić ocenę przydatności maszyn do długotrwałej i niezawodnej pracy. Silniki prądu przemiennego są powszechnie stosowane w wielu gałęziach przemysłu i stwarzają nadal wiele problemów ze względu na coraz większe wymagania jakie stawia się tym silnikom w celu utrzymania warunków procesu technologicznego.

Autor formułuje cel pracy (str.30), który sprowadza się przede wszystkim do opracowania modyfikacji wektorowego układu sterowania silników indukcyjnych prądu przemiennego, co skutecznie zwiększy odporność układu elektromechanicznego na zapady napięcia i krótkie przerwy. Tak postawiony cel pracy uważam za poprawny i uzasadniony.

Autor wyszczególnia jedną tezę główną rozprawy na str.30. Zagadnienie naukowe, jakie Autor postawił sobie do rozwiązania zostało określone logicznie i precyzyjnie. Prezentowane wyniki analizy teoretycznej, poparte szeroką weryfikacją pomiarową, mające na celu udowodnienie postawionej tezy, przedstawiono w sposób czytelny i przejrzysty.

3. Ocena merytoryczna rozprawy

Przedstawiona rozprawa została przygotowana jako praca promocyjna (doktorska). Praca składa się z czterech rozdziałów podstawowych, trzech załączników oraz spisu literatury (90 pozycji, w tym 4 prace własne Doktoranta) i wykazu ważniejszych oznaczeń. Recenzowaną rozprawę zaliczam do grupy prac eksperymentalno - teoretycznych. Uważam, że oceniana praca mgr Krawca spełnia wymogi rozprawy doktorskiej, gdyż zawiera oryginalne wartości:

- poznawcze w obszarze badanych zjawisk,
- konceptyjno-konstrukcyjne w obszarze metod sterowania i układów pomiarowych,
- eksperymentalne w obszarze badania odporności na zapady i krótkie przerwy w zasilaniu silnika indukcyjnego prądu przemiennego.

Stanowi ona moim zdaniem oryginalny wkład w rozwój nowoczesnych technik sterowania silnikami indukcyjnymi prądu przemiennego związanych ze zwiększeniem ich odporności, na zapady napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu. Nie ulega zatem wątpliwości, że Doktorant osiągnął wysoki stopień opanowania teorii sterowania i technik pomiarowych oraz zastosowania metod programowania w technice.

Praca jest skonstruowana poprawnie, zawiera wstęp (rozdział 1), wyraźnie sformułowany cel pracy oraz tezę. Autor przedstawił klasyfikację zapadów napięcia według Bollena, zdefiniował pojęcie odporności układów elektromechanicznych na zapady napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu oraz przedstawił, niestety bardzo krótko, stan wiedzy rozważanego w pracy problemu.

W rozdziale 2 przedstawiono badania symulacyjne odporności układu elektromechanicznego z silnikiem indukcyjnym prądu przemiennego na zapady i krótkie przerwy w zasilaniu. Silnik był zasilany przez przemiennik częstotliwości sterowany zmodyfikowanym wektorowym układem regulacji

Następnie (rozdział 3) dla celów realizacji badań Doktorant zbudował stanowisko pomiarowe wykorzystujące nowoczesny sprzęt komputerowy i oprogramowanie. Na tym stanowisku wykonał pomiary laboratoryjne prądów, napięć i prędkości układu elektromechanicznego z silnikiem indukcyjnym w warunkach zapadów napięcia zasilającego i krótkich przerw w zasilaniu. Wielowariantowe badania pomiarowe pozwoliły oszacować jakościowe i ilościowe zmiany wielkości elektrycznych oraz mechanicznych silnika indukcyjnego w warunkach zapadów napięcia i krótkich przerw w zasilaniu. Spośród badanych wielkości użyteczne dla sterowania są prądy stojana i prędkość silnika. Przetestowano symulacyjnie i pomiarowo odporność układu elektromechanicznego z silnikiem indukcyjnym prądu przemiennego na zapady napięcia typów A-G wg Bollena i krótkie przerwy w zasilaniu. Do symulacji w czasie rzeczywistym wykorzystano środowisko dSPACE. Przeprowadzone symulacje oraz pomiary laboratoryjne potwierdziły skuteczność proponowanej metody poprawy odporności układów elektromechanicznych z silnikami indukcyjnymi prądu przemiennego na zapady napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu.

Badania pomiarowe układu elektromechanicznego z silnikiem indukcyjnym prądu przemiennego zakończyły się pomyślnie. Wyniki pomiarów generalnie są zgodne z oczekiwaniami wynikającymi z analiz teoretycznych.

W rozdziale 4 zamieszczono wnioski oraz zdaniem Autora oryginalny dorobek naukowy rozprawy. Wydaje się celowe szczegółowe rozwinięcie na obronie rozprawy doktorskiej możliwości kierunków dalszych badań.

Za najważniejsze osiągnięcie Doktoranta uważam rozważania i wyniki badań zawarte w rozdziałach od 2 do 4. Rozdziały te stanowią własny wkład Doktoranta. Oceniając pracę chcę podkreślić, że została ona wykonana na dobrym poziomie i jest wartościowa z punktu widzenia pogłębienia wiedzy na temat nowoczesnych metod poprawy odporności na zapady i krótkie przerwy w zasilaniu układów elektromechanicznych z silnikami indukcyjnymi prądu przemiennego. Wnosi ona także oryginalny wkład naukowy i potwierdza wysokie kwalifikacje Autora rozprawy. Rozprawę cechuje duży indywidualny wkład Doktoranta w prezentowane w niej badania. W swojej rozprawie mgr inż. Henryk Krawiec szeroko rozwinął warsztat badawczy właściwie dobierając metody i narzędzia badawcze. Wykazał się dużą znajomością teorii, technik programowania i pomiarów. Szkoda, że komentarze Autora do przeprowadzonych badań oraz wnioski są opracowane bardzo skrótowo.

Do oryginalnych osiągnięć w pracy doktorskiej można zaliczyć:

- propozycję metody poprawy odporności układów elektromechanicznych z silnikami indukcyjnymi prądu przemiennego na zapady i krótkie przerwy w zasilaniu. Autor określił sposób zwiększenia odporności, przez analogię do napędu prądu stałego. Dotychczasowe działania nie uzależniały wartości zadanej strumienia sprzężonego z uzwojeniem wirnika od poziomu napięcia u_{DC} . Zwiększenie odporności układu elektromechanicznego z silnikami prądu przemiennego na zapady napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu nawet o kilka lub kilkanaście procent jest godne zastosowania.
- wykonanie modeli matematycznych do badań symulacyjnych układów elektromechanicznych i wielowariantowych obliczeń,
- zbudowanie układu pomiarowego, wykonanie pomiarów i analiz,
- zbadanie możliwości zastosowania proponowanej metody poprawy odporności w przemyśle,
- propozycja algorytmu sterowania częstotliwościowego silników indukcyjnych.
- wykonanie pomiarów dla różnych stanów awaryjnych oraz stanu bezawaryjnego przy różnych warunkach zasilania uodparniających metodę analizy na zakłócenia zawarte w napięciu zasilającym,
- dokonanie porównania działania różnych wariantów algorytmu.

W trakcie zapoznawania się z treścią pracy nasunęło mi się kilka pytań i uwag dyskusyjnych, do których prosiłbym o komentarz ze strony Doktoranta:

- Czy zastosowanie udokładnionego modelu matematycznego maszyny asynchronicznej umożliwiającego symulowanie badanych w pracy stanów awaryjnych, pozwoliłoby na uzyskanie dokładniejszych wyników badań symulacyjnych?
- Pomiary przeprowadzone zostały jedynie na maszynach indukcyjnych, co nie pozwala uogólnić uzyskanych wyników na całą klasę innych maszyn (np. synchronicznych). Czy Autor planuje dalsze prace badawcze dotyczące silnika synchronicznego z magnesami trwałymi, poprzez zadawanie ujemnej wartości prądu i_{sd} w funkcji u_{DC} ?
- Dlaczego uproszczone sterowanie amplitudowo - częstotliwościowe jest znacznie mniej skuteczne od układu regulacji we współrzędnych związanych z wektorem strumienia sprzężonego z uzwojeniem wirnika?
- Dlaczego było konieczne zastosowanie układu równoległego silnika z korektą napięć u_{sd} , u_{sq} zamiast sprawdzonego układu odtwarzania strumienia Ψ_r ?
- Dlaczego przy zasilaniu bezpośrednio z sieci w sytuacji znacznie większego prądu stojana nie zapewniono utrzymania prędkości (str. 87 zapad typu C)?
- Jak wpływa niedokładna wartość zadana strumienia sprzężonego z wirnikiem na wyniki symulacji?
- Dlaczego analizowano wszystkie typy zapadów napięcia, skoro najbardziej trudny i niekorzystny jest zapad typu A?
- Dlaczego analizowano układ elektromechaniczny z silnikiem indukcyjnym zasilanym przez przemiennik częstotliwości VSI?
- Dlaczego zależności u_{sd} , u_{sq} ustala się tylko na podstawie symulacji, ustalenie tych zależności w układach rzeczywistych jest bardzo trudne.
- Reakcja silnika indukcyjnego dwuklatkowego (klatka rozruchowa) na zapady napięcia?
- Czy metoda jest odporna na zakłócenia występujące w napięciu zasilającym? Szczególnie ważne jest zbadanie wpływu zakłóceń mogących wystąpić w warunkach przemysłowych na proponowaną metodę. Jakie są zatem szanse na zastosowanie opracowanej przez Autora metody sterowania w przemyśle?
- Jak zdaniem Autora będą wyglądały koszty układu sterowania w porównaniu z zyskiem odbiorcy w przemyśle?

- Proszę o podanie kierunków dalszych badań?

4. Uwagi szczegółowe

Podkreślam staranność Autora w poprawnym zapisywaniu wzorów matematycznych oraz dobrą stronę graficzną pracy.

W pracy znalazłem trochę błędów stylistycznych, edytorskich i interpunkcyjnych, które nie wpływają na ostateczną pozytywną jednak ocenę pracy i nie będę ich zamieszczał.

Zwracam natomiast uwagę na pewne uchybienia i podaję ich przykłady:

- Str. 120, 122; -nie "przy pomocy", a „za pomocą”;
- brak numerów stron artykułów cytowanych w pracy;
- usterki dotyczące pozycji literaturowych: 9, 15, 47, 78, 90 ;
- przy cytowanych stronach internetowych należy podawać rok;

5. Konkluzja recenzji

Stwierdzam, iż rozprawa jest napisana poprawnie, układ pracy jest precyzyjny i logiczny, a strona graficzna jest wykonana starannie. Wnioski końcowe uzyskane w pracy są poprawne i interesujące.

Przedstawione powyżej uwagi ogólne i szczegółowe nie obniżają mojej pozytywnej oceny pracy.

Wyniki rozważań zawarte w rozprawie upoważniają do stwierdzenia, iż została udowodniona teza oraz osiągnięto założone cele pracy.

Przedstawiona rozprawa dowodzi, że Doktorant umiejętnie korzysta z literatury w obranej dziedzinie wiedzy, podchodzi do niej krytycznie, a ponadto potrafi twórczo rozwijać osiągnięcia innych autorów. Rozprawę cechuje duży indywidualny wkład Doktoranta w prezentowane w niej badania. W swojej rozprawie mgr inż. Henryk Krawiec szeroko rozwinął warsztat badawczy właściwie dobierając metody i narzędzia badawcze. Wykazał się też dużą znajomością teorii, technik programowania i pomiarów.

Uważam, że praca stanowi samodzielne rozwiązanie przez Autora zagadnienia naukowego przy użyciu nowoczesnych metod badawczych.

Podkreślić należy, że Doktorant ma bardzo duże doświadczenie zawodowe. Jest Autorem 12 publikacji naukowych oraz 12 prac dla przemysłu. Wyniki badań były prezentowane na Międzynarodowym Sympozjum Maszyn Elektrycznych w Szczawnicy (2014 r.) i na XI Konferencji Wybrane Zagadnienia Elektrotechniki i Elektroniki w Czarnej (2013 r.).

Opublikowane zostały w materiałach konferencyjnych (Zeszytach Problemowych – Maszyny Elektryczne) oraz w książce pt.: „Analysis and Simulation of Electrical and Computer Systems” (Springer International Publishing, Switzerland, 2015).

Stwierdzam, iż przedstawiona rozprawa pt. **„Odporność układów elektro-mechanicznych z silnikami prądu przemiennego na zapady napięcia i krótkie przerwy w zasilaniu”** autorstwa Pana mgr inż. **Henryka Krawca** stanowi samodzielne rozwiązanie zadania badawczego i spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim przez Ustawę o Tytule Naukowym i Stopniach Naukowych oraz o Stopniach i Tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr. 65, poz. 595) oraz Rozporządzenia Ministra Edukacji Narodowej i Sportu z dnia 15 stycznia 2004 roku i Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 3 października 2014 roku.

W związku z powyższym stawiam wniosek o przyjęcie przedstawionej pracy jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej Autora Pana mgr inż. **Henryka Krawca** do publicznej obrony pracy.

