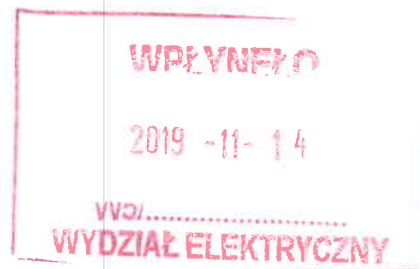


Dr hab inż. Mariusz Jagieła, Prof. Uczelni
Politechnika Opolska
Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki
45-758 Opole, ul. Prószkowska 76
e-mail: m.jagiela@po.edu.pl

Opole, 8 listopada 2019



Recenzja rozprawy doktorskiej pt. „Operation and faults analysis of energy-saving permanent magnet synchronous generator for small wind turbine”

Autorstwa - Roberto Eduardo Quintal Palomo, M.Sc.
Promotor rozprawy - Pan dr hab inż. Mateusz Dybkowski
Promotor pomocniczy- Pan dr inż. Maciej Gwoździewicz

1. Podstawa wykonania recenzji

Niniejszą recenzję wykonano na zlecenie Dziekana Wydziału Elektrycznego Politechniki Wrocławskiej z dnia 30 września 2019 r.

2. Opinia o rozprawie

2.1 Wybór tematu badań w odniesieniu do stanu wiedzy

Rozwój ekosystemu małych (poniżej 65 kW mocy i 1500 V napięcia stałego wg. normy IEC 61400 - 02) elektrowni wiatrowych i dedykowanych im rozwiązań od ponad trzydziestu lat stanowi przedmiot intensywnych badań i analiz naukowych. Wraz z pojawieniem się materiałów magnetycznie twardych o wysokiej koncentracji energii w jednostce objętości oraz dynamicznego rozwoju elektroniki w zakresie elementów mocy, rozwiązania te zaczęły być postrzegane jako opłacalne źródła energii elektrycznej. Większość w tej grupie elektrowni wiatrowych, stanowią układy pracujące samotnie. Zazwyczaj jako generator stosowana jest maszyna wzbudzana magnesami trwałymi a moment obrotowy turbiny jest przekazywany do maszyny bez pośrednictwa przekładni mechanicznej. Takie, dogodne z punktu widzenia integralności i niezawodności rozwiązanie rodzi dwa główne problemy, mianowicie:

- uzyskanie wysokiej sprawności oraz regulacja i stabilizacja napięcia w układzie otwartym,
- nietrwałość parametrów elektrycznych generatora oraz silny wpływ warunków pracy generatora na te parametry a także dobór generatora z punktu widzenia tych parametrów.

Zagadnieniom tym poświęcono wiele uwagi na łamach najważniejszych dla tego obszaru czasopism naukowych takich jak m.in. IET Renewable Power Generation, IEEE Transactions on power electronics, IEEE Transactions on industrial electronics, IEEE Transactions on energy conversion czy Wind energy jak również na forach międzynarodowych konferencji i kongresów.

Należy zauważyć, że pomimo dużej różnorodności opracowanych i zbadanych odmian generatorów synchronicznych wzbudzanych magnesami trwałymi i licznych opracowań na ich temat, wciąż poszukuje się idealnych rozwiązań z punktu widzenia niektórych wymagań. W świetle powyższego, uważam, że wybór tematu rozprawy Pana R.E. Quintal Palomo nt. „Operation and faults analysis of energy-saving permanent magnet synchronous generator for small wind turbine” jest adekwatny do aktualnego stanu techniki i stanu wiedzy w tym zakresie.

Uważam jednak, że tytuł rozprawy nie jest w pełni skorelowany z jej zakresem oraz treścią, czego uzasadnieniem jest brak głębszego kontekstu w pracy dla pojęcia energooszczędności generatora. Jedyny element pracy odnoszący się do tego pojęcia to wykorzystanie algorytmu MTPA (Maximum Power Point Tracking). Natomiast nie znalazłem w niej żadnego wyniku, który pozwalałby ocenić stopień energooszczędności zaproponowanego generatora. Po drugie, pojęcie energooszczędności odnosi się raczej do napędów elektrycznych (czyli odbiorników zasilanych z sieci) a nie generatorów, dla których należy posługiwać się pojęciem sprawności.

2.1 Dobór metod badawczych

Ostatnie lata przyniosły ogromny skok wydajności komputerów, co zaowocowało nowym podejściem do wykorzystania komputera w projektowaniu układów elektromechanicznych. Znacznie poszerzył się dzięki temu zakres problemów możliwych do rozwiązania a także pojawiły nowe paradygmaty, m.in. tzw. ko-symulacja czyli symulacja z wykorzystaniem nie pojedynczego, ale wielu modeli matematycznych opierająca się na specjalnie do tego celu opracowanych algorytmach wymiany danych między programami obliczeniowymi.

W odniesieniu do układów elektromechanicznych, rozwiązanie to umożliwia korzystanie z modeli maszyn elektrycznych o parametrach rozłożonych w połączeniu z dokładniejszym odwzorowaniem kształtu napięcia zasilającego uzwojenie, algorytmu sterowania napędem, a nawet z pewnym stopniem dokładności - pracę kluczy półprzewodnikowych. W chwili obecnej moc obliczeniowa komputerów jest na tyle duża, że wyniki analiz z wykorzystaniem takich podejść mogą mieć znaczenie praktyczne, a rozwój komercyjnego oprogramowania do obliczeń polowych świadczy o zapotrzebowaniu środowiska praktyków na takie narzędzia.

W świetle powyższego uważam, że dobór metod badawczych w recenzowanej pracy doktorskiej polegający na wykorzystaniu ko-symulacji jako podstawowego sposobu modelowania generatora synchronicznego pracującego samotnie wraz z jego układem zasilania i sterowania, jest odpowiednio dostosowany do jej celów (zbadanie stanów awaryjnych w tym wpływu częściowego odmagnesowania magnesów trwałych), chociaż jeszcze kilka lat temu mógłby on być uznany za przejaw nadużywania środków obliczeniowych. Podstawę do oceny praktyczności i dokładności tego podejścia tworzy stanowisko laboratoryjne opracowane w ramach pracy.

2.2 Ocena zawartości pracy

Za części pracy, stanowiące o jej wartości merytorycznej uznaję rozdziały 2 - 9. Poddano w nich analizie zarówno samą maszynę elektryczną - tzw. generator synchroniczny o biegunach indukowanych badając szczegółowo wpływ parametrów konstrukcyjnych wirnika na kształt oraz jakość wytwarzanego napięcia. Zbadano także wytrzymałość mechaniczną zaprojektowanego wirnika na siłę odśrodkową oraz siłę ścinającą zadaną na jego powierzchni. Jeden z rozdziałów pracy poświęcono zagadnieniu pracy generatora z częściową utratą stanu namagnesowania magnesów trwałych i jego wpływem na wytwarzane napięcie. W kolejnych rozdziałach przebadano pod względem wielu istotnych kryteriów jej niezawodność w czasie pracy w otwartym oraz zamkniętym układzie sterowania także z uwzględnieniem elementarnego równania kinematyki turbiny. Zbadano różne algorytmy sterowania pracą generatora z punktu widzenia niezawodności całego systemu. Przebadano, poprzez obszerne porównania uzyskanych wyników obliczeń, zachowanie się klasycznego modelu o parametrach skupionych - opisanego za pomocą układu liniowych równań różniczkowych zwyczajnych z zachowaniem modelu o parametrach rozłożonych. Za pomocą ko-symulacji pokazano istotne różnice w wynikach obliczeń wynikające z nieuwzględnienia w modelowaniu takich zjawisk jak nieliniowość obwodu magnetycznego czy oddziaływanie twornika. W rozprawie sformułowano także wiele wniosków o charakterze praktycznym - dotyczących konstrukcji maszyny elektrycznej, zaleceń co do realizacji układu odbioru mocy z jej uzwojenia i sterowania tym układem, jak również symulacji komputerowej. Wiele z tych wniosków ma charakter nowej wiedzy. Chociaż istnieją przykłady prac naukowych, w których stosowana jest ko-symulacja układów elektromechanicznych, to nie jest mi znana żadna inna praca, w której wykorzystano ten paradygmat w tak szerokim zakresie analizowanych problemów. Na podkreślenie i uznanie zasługuje część praktyczna rozprawy, w której Autor dowiódł umiejętności tworzenia zaawansowanych laboratoryjnych stanowisk badawczych oraz planowania eksperymentu i pomyślnego przeprowadzenia na nich złożonych prac pomiarowych.

Mam nieco bardziej krytyczny stosunek do pracy pod względem sposobu prowadzenia dyskursu naukowego i jej szaty graficznej, co podnoszę w dalszej części recenzji. Podkreślam jednak, że nie umniejsza to jej głównym osiągnięciom, które opisałem powyżej.

2.3 Uwagi i pytania

W czasie czytania pracy nasunęło się wiele uwag oraz pytań. Uwagi, które mam do pracy, a co do których nie oczekuję odpowiedzi od jej Autora, są następujące.

1. Praca, napisana w języku angielskim, jest czytelna i dosyć zrozumiała, jednak składnia języka jest bardzo zawiła. Jest w niej sporo zwrotów nieformalnych, potocznych, liczne zdania wielokrotnie złożone. Znalazłem także sporo błędów językowych. Niektóre przykłady z początkowych rozdziałów pracy: *...these kind of machines; these analysis...; here is important...; this is effect is...; 3 kW of electricity; Further analysis were done ...; (FEM).... deliver very similar results; Bigger ΔV_{rms} is worst; ...was overcome; ...about this same system, etc.*

2. Większość rysunków zamieszczonych w pracy jest o wiele za mała, a przez to prawie nieczytelna dla wzroku. Wiele wartościowych wyników byłem w stanie poznać tylko dzięki wersji elektronicznej pracy, którą udostępnił mi jej Autor.
3. Strona 16: zapis funkcji \cos^{-1} - powinno być \arccos
4. Strona 21. Określenie *tangential torque* jest w tym przypadku niejednoznaczne. Jedyny kierunek styczny na rysunku to kierunek obrotu wirnika a kierunek działania momentu siły ścinającej jest osiowy (równoległy do powierzchni zewnętrznej wirnika) a nie styczny.
5. Wzór (3.1) raczej *permeability coefficient* niż *permeance coefficient*.
6. Fig. 6.9 - niewłaściwe podpisy pod rysunkami.

Z kolei, uwagi i pytania, na które oczekuję od Autora wyjaśnień to:

Ogólnie, sposób prezentowania informacji w częściach opisowych pracy jest dość powierzchowny. Recenzent, na ich podstawie nie potrafi zrozumieć kilku istotnych zagadnień, w szczególności:

A:) Czy wyniki obliczeń przedstawione na Fig. 2.19 uwzględniają straty w żelazie. Jeśli nie, to proszę o wyjaśnienie do jakiego stopnia, zdaniem Autora straty te zmieniają wyniki obliczeń prezentowane na rys. 2.19. Jeśli tak, to proszę o wyjaśnienie jakim modelem strat w żelazie posługuje się wykorzystane oprogramowanie ?

B) Rozdział 3 przedstawia wstęp teoretyczny, w którym opisano stan wiedzy oraz parametryczny model częściowego odmagnesowania magnesu trwałego. Z zamieszczonego opisu jak również z wyników zamieszczonych w dalszej części tego rozdziału wynika, że w obliczeniach wykorzystano rodzaj dynamicznego modelu magnesowania. W opisie teoretycznym tego modelu wymienia się parametry ΔB_r oraz ΔH_c , które zależą od temperatury. Na podstawie przedstawionego opisu, recenzent nie był jednak w stanie dojść do tego w jaki sposób wygenerowano wyniki przedstawione na Fig. 3.9 - 3.11.

C) Czy w obliczeniach przedstawionych w rozdziale 3 uwzględniono prądy wirowe ? Jeśli tak, to jak modelowano je w magnesach trwałych ? Zdaniem recenzenta uwzględnienie prądów wirowych w stanach dynamicznych ma istotny wpływ na wyniki obliczeń.

D) Co jest główną przyczyną różnic w wynikach obliczeń uwidoczniionych na Fig. 6.9 ?

E) Z opisu modelu symulacyjnego zamieszczonego w pracy wynika, że stosowany jest stały krok czasowy we wszystkich modelach składowych. Z doświadczenia recenzenta wynika natomiast, że w takim przypadku praca elementów półprzewodnikowych będzie odwzorowywana błędnie. Prawdopodobnie krok czasowy narzuca tutaj program do symulacji pracy przekształtnika, który działa ze zmiennym i generalnie bardzo małym krokiem czasowym, natomiast pozostałe

programy są „wołane” w dużo większych odstępach czasu. Czy Autor przeprowadził rozpoznanie zagadnienia w tym zakresie oraz czy sprawdzano wpływ okresu próbkowania na wyniki obliczeń? Czy okres próbkowania (równy krokowi czasowemu użytemu w modelu polowym) w przypadku przebiegów przedstawionych na Fig. 7.6 gwarantuje poprawną symulację pracy diod?

2.4 Konkluzja

Recenzowana rozprawa ma charakter dysertacji naukowej. Przeprowadzone w niej badania dowodzą, że jej Autor, Pan Roberto Eduardo Quintal Palomo posiada dużą wiedzę teoretyczną z zakresu sterowania napędami elektrycznymi, zagadnień konstrukcyjnych maszyn elektrycznych oraz modelowania matematycznego i symulacji komputerowej. Potrafi także samodzielnie doprowadzić do rozwiązania oryginalnego problemu naukowego z wykorzystaniem owoczesnych narzędzi obliczeniowych takich jak ko-symulacja, a także korzystać z dostępnej wiedzy i rozwijać twórczo dorobek innych naukowców. Nie ulega żadnej wątpliwości, że przedstawione wyniki oraz ich interpretacje przeprowadzone przez doktoranta dowodzą postawionych w niej tez.

W świetle powyższego, w opinii recenzenta, rozprawa spełnia wymagania art. 13 ust 1 Ustawy o Stopniach i Tytule Naukowym z dnia 14 marca 2003 roku (Dr U. z dnia 21 czerwca 2016 roku, poz. 882) i przez to wnioskuję o dopuszczenie jej Autora, Pana Roberto Eduardo Quintal Palomo do jej obrony.

W świetle zmian i wymagań wprowadzonych przez Ustawę z dnia 3 lipca 2018 roku - Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, wyrażam opinię, że recenzowana rozprawa wnosi wkład do dyscypliny naukowej Automatyka i Robotyka w zakresie opracowywania metod i rozwiązywania problemów modelowania matematycznego i symulacji systemów sterowania układami nieliniowymi. Zagadnienia te mieszczą się w zakresie osiągnięć w dyscyplinie naukowej Automatyka, elektronika i elektrotechnika.

W świetle obowiązujących przepisów uważam za zasadne nadanie jej Autorowi - Panu Roberto Eduardo Quintal Palomo nadanie stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie Automatyka, elektronika i elektrotechnika.

