

Dr hab. inż. Tomasz Węgiel

Kraków, 30.11.2015

Politechnika Krakowska

Wydział Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej



RECENZJA

Rozprawy doktorskiej Pana **Sebastiana Latosiewicza** na temat:

„Modelowanie i własności bezrdzeniowych maszyn synchronicznych tarczowych”

wykonanej na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej
Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie

pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Jerzego Skwarczyńskiego, prof. nz. AGH

Poniższą recenzję wykonałem na podstawie decyzji Rady Wydziału z dnia 24 września 2015r.

1. Ogólna charakterystyka pracy

Praca została zakończona w 2015r. Obejmuje ona 132 strony i zawiera na początku wykaz skrótów i oznaczeń, wstęp oraz przedstawienie celu i zakresu badań, następnie zasadniczą część pracy w postaci 10 rozdziałów (z wnioskami, podsumowaniem i dodatkami) oraz na końcu przegląd literatury.

2. Ocena pracy

2.1. Struktura pracy

W rozprawie zostały kolejno przedstawione:

- wykaz skrótów i oznaczeń,
- wstęp wprowadzający w tematykę rozprawy,
- cel i zakres realizowanych badań oraz teza pracy,
- w rozdziale 1 - przegląd wiedzy dotyczącej tematu rozprawy na podstawie literatury,
- w rozdziale 2 - omówiono rozwiązania analizowanych maszyn tarczowych ze wzbudzeniem za pomocą magnesów trwałych umieszczonych w układzie klasycznym i Halbacha,
- w rozdziale 3 - zaprezentowano specyfikę obwodów magnetycznych maszyn dwutarczowych oraz analityczne formuły do wyznaczenia rozkładu pola magnetycznego w szczelinie powietrznej tej klasy maszyn,
- w rozdziale 4 - zamieszczono przydatne formuły opisujące moment elektromagnetyczny oraz SEM uzwojeń,
- w rozdziale 5 - zawarto analizy numeryczne z użyciem pakietu do obliczeń polowych MES 3D dla analizowanych konstrukcji maszyn tarczowych. Pokazano wyniki rozkładów indukcji magnetycznej oraz przebiegi wytwarzanego momentu elektromagnetycznego i generowanych SEM w stanie ustalonym,
- w rozdziale 6 - zestawiono wyniki badań symulacyjnych,
- w rozdziale 7 - pokazano model matematyczny 3-fazowej maszyny synchronicznej tarczowej z magnesami trwałymi nawiązujący do klasycznych modeli maszyn synchronicznych co pozwoliło na pokazanie wybranych własności tego typu maszyn,
- w rozdziale 8 - zestawiono wnioski bazujące na wynikach badań symulacyjnych,
- w rozdziale 9 - zawarto podsumowanie pracy oraz końcowe uwagi i wnioski,

- w rozdziale 10 – zamieszczono dodatki takie jak: tabela własności współczesnych magnesów trwałych, rozkłady pola magnetycznego w szczelinie powietrznej maszyny tarczowej z magnesami trwałymi rozmieszczonymi w sposób tradycyjny i w układzie Halbacha oraz przydatne w procesie projektowania dane drutów nawojowych,
- spis literatury związany z tematyką pracy.

Charakter pracy można sklasyfikować jako teoretyczno-obliczeniowy. Układ pracy w sposób konsekwentny obejmuje wszystkie elementy niezbędne do przedstawienia uzyskanych rezultatów i udowodnienia postawionej tezy. Uważam zatem, że recenzowana praca pod względem struktury została zbudowana właściwie.

2.2. Motywacja pracy

Konstrukcje maszyn synchronicznych tarczowych wzbudzanych magnesami trwałymi są stosunkowo nowymi rozwiązaniami, aczkolwiek znalazły już szereg aplikacji zarówno w układach napędowych jak i również generacyjnych. Zestawianie magnesów w tzw. szereg Halbacha jest dobrze znane, jednakże rozwiązanie to nie było stosowane na szerszą skalę w obwodach magnetycznych maszyn tarczowych. Zastosowanie takiego układu magnesów pozwala na opracowanie konstrukcji maszyn tarczowych bezrdzeniowych, dlatego też bardzo ważnym zagadnieniem staje się poznanie własności i cech tej klasy maszyn.

Motywy podjęcia pracy zostały przedstawione w pierwszych rozdziałach rozprawy. U ich podstaw leży przekonanie, że maszyny synchroniczne tarczowe o wzbudzeniu magnesami trwałymi umieszczonymi w sposób klasyczny i w układzie Halbacha posiadają wiele podobnych własności eksploatacyjnych, ale również występują istotne różnice, co znalazło swój wyraz w postawionej tezie pracy.

Pomimo licznych prac na temat maszyn synchronicznych tarczowych wzbudzanych magnesami trwałymi, których przegląd został wnikliwie przedstawiony przez Autora, temat rozprawy należy uznać za ważny i aktualny. Istota tematu polega na tym, że opracowane modele i zaproponowane przez Autora rozwiązania pozwolą na pokazanie pozytywnych i negatywnych cech tego typu konstrukcji. Obszar tematyczny pracy i motywacja jej podjęcia zasługują zatem na uznanie.



2.3. Teza pracy

Teza pracy doktorskiej Pana Sebastiana Latosiewicza:

*„Maszyny bezrdzeniowe z magnesami trwałymi stanowią istotny postęp,
ale nie przełom w konstrukcji maszyn elektrycznych”*

wynika z postawionych zadań badawczych do których zalicza się przeprowadzenie wstępnej, uproszczonej analizy rozwiązań konstrukcyjnych, wyznaczenie momentu elektromagnetycznego i SEM, analizy polowe oraz opracowanie modeli matematycznych pozwalających na poznanie wybranych własności maszyn tarczowych.

Część teoretyczną dowodu tak przedstawionej tezy Doktorant prezentuje w rozdziałach 3 i 4, natomiast w rozdziale 5 pokazuje wyniki analiz z użyciem metod polowych MES 3D, które są substytutem badań dla rzeczywistych modeli fizycznych. Zestawienia i porównania wyników oraz wnioski Doktorant zamieszcza w dalszych częściach swojej pracy.

2.4. Realizacja pracy

Jądro pracy stanowią rozdziały 3 - 5. W rozdziale 3 Autor przedstawia szczegółowe formuły i obliczenia indukcji dla dwóch płaskich fragmentów konstrukcji częściowo lub całkowicie bezrdzeniowych, co pozwala ocenić specyfikę obwodów magnetycznych maszyn dwutarczowych. Jedną z zauważonych istotnych własności są różnice pomiędzy strumieniami wychodzącym z magnesu i strumieniem przekraczającym szczelinę, dlatego posługiwanie się obwodem zastępczym o parametrach skupionych wymaga korzystania z zaproponowanego w obu przypadkach wspólnego strukturalnie wzoru, którego charakterystyczne współczynniki zostały wyznaczone z użyciem metod polowych. Dzięki takiemu podejściu, co jest oryginalnym pomysłem Doktoranta, była możliwa ocena własności układu klasycznego umieszczenia magnesów w stosunku do układu Halbacha.

Rozdział 4 zawiera wyprowadzenia zależności na wytwarzany moment elektromagnetyczny oraz generowaną SEM uzwojeń. Z uwagi na fakt, że rozkład pola w maszynach tarczowych jest trudny do wyrażenia analitycznie, zaproponowano użyteczne formuły przydatne dla procesu projektowania maszyn tarczowych, co również należy uznać za oryginalny wkład Doktoranta.

W rozdziale 5 zamieszczono analizy rozkładów indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej, pochodzącej od magnesów ułożonych w układzie klasycznym oraz Halbacha. Analizy te przeprowadzono w oparciu o stało-czasowe obliczenia MES 3D. Wykonano serie obliczeń wykorzystując model, w którym zmieniano grubość szczeliny powietrznej celem

rozpoznania wpływu jej wielkości na rozkład indukcji magnetycznej w szczelinie. Ponadto wyznaczono i porównano momenty elektromagnetyczne rozwijane przez modelowe maszyny dla takich samych warunków zasilania oraz określono siły elektromotoryczne indukowane w uzwojeniach twornika przez wirujące magnesy dla stanu bezprądowego. Zakładano przy tym, że budowa uzwojeń może mieć strukturę zarówno jedno jak i dwuwarstwową. Porównanie uzwojeń jedno i dwuwarstwowych o różnych szerokościach boków cewek, pozwoliło zaobserwować ich wpływ na parametry analizowanych maszyn.

Warto podkreślić, że przygotowany przez Doktoranta szeroki program badań symulacyjnych, pozwolił na uzyskanie wyników prowadzących do sformułowania istotnych wniosków przydatnych dla projektantów maszyn tarczowych wzbudzanych magnesami trwałymi.

3. Uwagi krytyczne

3.1. Uwagi ogólne

Formalna strona pracy jest bez zarzutu. Jej treść jest prezentowana systematycznie a kolejność omawianych problemów właściwa i logicznie uzasadniona. Przedstawione przez Doktoranta wzory w części teoretycznej pracy są zilustrowane wynikami przedstawionymi na wykresach. Autor wykazuje się wiedzą teoretyczną, w szczególności w zakresie modelowania maszyn elektrycznych, jak również biegłością i znajomością posługiwania się programami do obliczeń metodą elementów skończonych w wersji 3D. Na wyróżnienie zasługuje klarowny język, w którym praca jest napisana. Pracę czyta się jednak trudno, gdyż jest we fragmentach „zmatematyzowana”. Pewnym mankamentem pracy jest czasami brak poglądowych rysunków do przedstawianych opisów. Ponadto, Autor pracy nie stosuje dobrych praktyk i reguł jakie są zalecane przy zapisie wzorów matematycznych (np. zawartych w opracowaniu Prof. dr hab. inż. Krystyna Pawluka pt. „JAK PISAĆ TEKSTY TECHNICZNE POPRAWNIE”). Pomimo, że praca dotyczy konkretnych problemów dla maszyn elektrycznych, to jednakże ich rozwiązanie wymagało od Doktoranta bardzo dobrego opanowania zagadnień programowania numerycznego. Wkład pracy Pana Sebastiana Latosiewicza w przygotowaniu tej rozprawy jest zatem naprawdę bardzo duży. Wnioski wypływające z pracy są sformułowane poprawnie i w całej rozciągłości potwierdzają postawioną tezę. Wykaz literatury i odwołania do poszczególnych pozycji wskazują na dobre rozeznanie Doktoranta w obszarze wiedzy, którego dotyczy przedstawiona rozprawa.



3.2. Uwagi szczegółowe (uwagi dyskusyjne, dotyczące merytorycznej strony pracy)

- 1/. Brak pokazania możliwości współpracy z siecią (o regulowanym napięciu U_s) i wyznaczenia „równoważnych” krzywych V , czyli $I_s=f(U_s)$ dla analizowanych przykładowych konstrukcji maszyn tarczowych. Analizy takie są interesujące w stosunku do klasycznych maszyn synchronicznych i z pewnością byłyby dobrym uzupełnieniem rozdziału 7 dotyczącego własności bezrdzeniowych maszyn tarczowych.
- 2/. W rozdziale 5, wszystkie przedstawiane analizy zawartości wyższych harmoniczných w indukowanej SEM uzwojeń są obarczone błędem. W stanie ustalonym pojawienie się w przebiegach indukowanych napięć harmoniczných parzystych jest przejawem biegunowej niesymetrii wewnętrznej, a tej w rozważanych konstrukcjach brak. Błąd ten wynika z niewłaściwego przyjęcia przedziału czasowego dla którego były wykonywane analizy FFT. Przyjęty przedział czasowy (jednego okresu dla harmoniczných podstawowej) był zbyt krótki, gdyż nie odrzucał stanu przejściowego jaki wystąpił na początku tego przedziału. Należało wziąć dłuższy czas obliczeń i odrzucić stan przejściowy lub zastosować jedną z tzw. „sztuczek” cyfrowego przetwarzania sygnałów i zrobić odbicie zwierciadlane danych z drugiej połówki okresu (gdzie stan ustalony został osiągnięty) na pierwszą połówkę. Konsekwencją tego niedopatrzenia są najprawdopodobniej z błędami wyznaczone wartości skuteczne SEM i współczynniki kształtu przebiegu SEM.

4. Wniosek końcowy

Zamieszczone uwagi nie wpływają na moją ostateczną pozytywną ocenę pracy. Stwierdzam zatem, że rozprawa doktorska Pana **Sebastiana Latosiewicza** pt. „*Modelowanie i własności bezrdzeniowych maszyn synchronicznych tarczowych*” stanowi oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego i dowodzi Jego umiejętności prowadzenia prac naukowych. Praca ta spełnia moim zdaniem wszelkie wymagania stawiane przez Ustawę z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65 poz. 595, z późn. zm.) i w związku z tym przedkładam Radzie Wydziału Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Inżynierii Biomedycznej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie wniosek o przyjęcie i dopuszczenie recenzowanej pracy do publicznej obrony.

