

Łódź, 15.06.2020

dr hab. inż. Ewa Korzeniewska
Politechnika Łódzka
Wydział Elektrotechniki, Elektroniki,
Informatyki i Automatyki

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Mieczysława Pciana

**p.t. „Analiza porównawcza nadprzewodnikowego i konwencjonalnego
generatora synchronicznego małej mocy”**

Recenzja została opracowana na podstawie umowy o dzieło nr 16/E/Dr/2020 pomiędzy Politechniką Lubelską jako zamawiającym oraz wykonawcą Ewą Korzeniewską.

1. Dane ogólne

Praca wykonana została na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Rozprawa zawiera 146 stron tekstu, 125 pozycji literatury cytowanej, z których 62 opublikowane zostały po roku 2010, a 26 pozycji to materiały dostępne na stronach internetowych. Rozprawa zawiera 91 rysunków i wykresów oraz 16 tabel. W pracy na pierwszych stronach znajduje się wykaz skrótów i symboli użytych w pracy co ułatwia czytelnikowi zapoznanie się z dysertacją.

2. Ocena tematu i ogólna charakterystyka rozprawy

Recenzowana praca dotyczy analizy porównawczej parametrów generatorów synchronicznych małej mocy zbudowanymi w oparciu o uzwojenia nadprzewodnikowe oraz klasyczne miedziane. Tytuł rozprawy określa jednoznacznie jej tematykę. Merytoryczny wkład, praktyczne podejście do planowania eksperymentu oraz sposób jego realizacji są bez wątpienia silną stroną rozprawy. Należy stwierdzić, że tematyka podjęta w dysertacji jest ważna, przyszłościowa i stanowi fragment wielu badań zarówno z obszaru elektrotechniki jak i fizyki. Zatem podjęcie tematu recenzowanej pracy doktorskiej pod tytułem: „Analiza porównawcza

nadprzewodnikowego i konwencjonalnego generatora synchronicznego małej mocy” jest jak najbardziej celowe i uzasadnione.

3. Teza pracy i jej cel

Pozytywnie oceniam sformułowaną przez autora tezę: „Zamiana uzwojeń miedzianych na nadprzewodnikowe umożliwiła efektywniejsze działanie generatora synchronicznego z magnesami trwałymi”

W celu dowiedzenia słuszności tezy autor rozprawy przeprowadził analizę porównawczą nadprzewodnikowego i konwencjonalnego generatora synchronicznego małej mocy za pomocą modeli numerycznych i ich weryfikacji w badaniach eksperymentalnych na zbudowanych modelach fizycznych. Z tego powodu wyznaczył sobie do opracowania zagadnienia cząstkowe związane z opracowaniem modeli numerycznych generatora, zbudowaniem modelu fizycznego oraz pomiarami parametrów generatorów z uzwojeniami miedzianymi i nadprzewodnikowym, a w konsekwencji dokonaniem analizy porównawczej pomierzonych wartości.

4. Zawartość rozprawy

Praca składa się z ośmiu rozdziałów, które podzielone są na podrozdziały. Pierwszy rozdział to rozbudowany Wstęp, w którym oprócz podstawowych cech nadprzewodników, wymienione są ich zastosowania. Dodatkowo w tej części pracy autor przedstawił cel i tezę badawczą. Rozdział drugi poświęcony jest opisowi podstaw teoretycznych, na których bazuje praca. Opisane zostały podstawowe cechy oraz parametry krytyczne nadprzewodników. Następna część, również teoretyczna, poświęcona jest analizie stanu wiedzy w obszarze, w którym przygotowana jest rozprawa. Autor przedstawił specyfikację materiałów oraz taśm nadprzewodnikowych wykorzystywanych do produkcji urządzeń nadprzewodnikowych. W rozdziale tym podano konkretne wykorzystanie elementów nadprzewodnikowych w technice, co wskazuje na dużą wartość aplikacyjną przedstawionej pracy. Szkoda, że autor podając przykładowe aplikacje elementów nadprzewodnikowych potraktował temat bardzo ogólnie, nie wskazując konkretnych funkcji jakie pełnią w zbudowanych urządzeniach. Na rys. 3.17 oraz 3.18 autor przedstawia porównanie maszyn zbudowanych z wykorzystaniem uzwojeń miedzianych i nadprzewodnikowych, jednakże nie podano jakich konkretnie urządzeń dotyczą te porównania, przedstawione uogólnione wnioski są nieuprawnione. Podpisanie krzywych „maszyna HTS” czy też „maszyna Cu” jest zbyt dużym skrótem myślowym. Co oznacza maszyna HTS? Czy też maszyna Cu? Jaka to maszyna?

Rozdziały 4-7 to opis części doświadczalnej. W rozdziale czwartym autor pracy przedstawia trzy modele generatora: geometryczny, elektromagnetyczny statyczny oraz elektromagnetyczny dynamiczny. Opracowanie dotyczy generatora nadprzewodnikowego małej mocy, w którym wykorzystane zostały elementy silników elektrycznych: 36 oraz 48 żłobkowego. Uzwojenia miedziane zostały zastąpione uzwojeniem z nadprzewodnika HTS, a na wirniku zamontowane zostały trwałe magnesy neodymowe. W pierwszej części przedstawiono parametry geometryczne silników, które następnie zostały zaimplementowane do oprogramowania FEMM 4.2 celem dalszych badań symulacyjnych.

W rozdziale tym autor pracy zwraca uwagę na rozbieżności w geometrii modernizowanego silnika a generatora wytworzonego ze względu na możliwości adaptacyjne magnesów trwałych i uzwojeń nadprzewodnikowych. W fazie wstępnej przed opracowaniem modeli elektromagnetycznych generatora, autor pracy opracował algorytm obliczeń, który następnie został wykorzystany do opracowania modeli numerycznych generatora. Jako efekt końcowy opracowanych modeli autor przedstawił między innymi przykładowe grafiki rozkładu indukcji magnetycznej i linii pola magnetycznego w generatorze podczas obrotu wirnika w czasie oraz rozkłady składowych indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej generatora jak i rozkład momentu zaczepowego w funkcji położenia kąтового wirnika z uwzględnieniem różnych wartości kąta skosu magnesów. Do opracowania elektrodynamicznego modelu dynamicznego autor wykorzystał dodatkowo język skryptowy LUA, co pozwoliło autorowi pracy na rozszerzenie możliwości wykorzystywanego oprogramowania FEMM. Sposób prezentacji wyników symulacyjnych nie zawsze jest czytelny. Przykładem może być rys. 4.9, który wydaje się być połączeniem dwóch rysunków składowych i nie został wystarczająco jednoznacznie opisany w tekście. Nie wiadomo co oznacza część rysunku znajdująca się w prawym dolnym rogu. Dodatkowo brak w tekście jest wyjaśnień dotyczących rys. 4.10 i asymetrii w rozkładzie składowej normalnej indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej w zależności od znaku wektora indukcji. Ta sama uwaga dotyczy rys 4.13 i 4.14.

Nadprzewodnictwo jest zjawiskiem zachodzącym w temperaturach rzędu 0-100K powszechnie uznanych za niskie. Poprawne działanie generatora wymusza umieszczenie go w kąpieli ciekłego azotu. Z tego względu autor pracy rozdział piąty poświęcił właśnie zagadnieniu chłodzenia badanego generatora. W tej części znaleźć można nie tylko opis wymiany ciepła w kąpieli ciekłego azotu, ale również wpływ niskich temperatur na właściwości magnetyczne stali oraz badania dotyczące indukcji magnesu neodymowego zarówno w temperaturze otoczenia jak i ciekłego azotu. Doktorant omawia też w sposób skrócony wpływ niskiej

temperatury na elementy mechaniczne generatora. Ten rozdział pracy powinien być w mojej ocenie bardziej rozbudowany.

Przeprowadzona analiza teoretyczna oraz zbudowanie modeli numerycznych ułatwiło autorowi zbudowanie rzeczywistego modelu generatora nadprzewodnikowego małej mocy. Opis tego modelu znajduje się w rozdziale szóstym pracy. Autor podaje tu szczegółowe dane dotyczące materiałów i sposobu budowy opracowywanego modelu generatora, wyniki pomiarów parametrów uzwojeń jak i przebiegi napięcia wyjściowego generatora w temperaturze pokojowej oraz w kąpeli ciekłego azotu. W dalszej części autor pracy porównuje przebiegi pomierzone dla dwóch różnych uzwojeń miedzianych i nadprzewodnikowego oraz otrzymane na drodze przeprowadzonych symulacji, uzyskując dużą zgodność między nimi lub tłumacząc występujące między nimi różnice. Wyjaśnienia są jednak pobieżne.

Rozdział siódmy poświęcony jest analizie porównawczej zbudowanego generatora nadprzewodnikowego z generatorem synchronicznym małej mocy z uzwojeniami miedzianymi. Autor porównał pomierzoną jak i obliczoną rezystancję uzwojeń generatorów w temperaturze pokojowej oraz ciekłego azotu oraz parametry w stanie jałowym i obciążenia. Jako efekt swojej pracy autor podkreśla, iż generator z uzwojeniem nadprzewodnikowym charakteryzuje się wyższą efektywnością oraz parametrami w porównaniu do generatora konwencjonalnego. Rozdział ósmy, ostatni, zawiera podsumowanie i wnioski. Na zakończenie dysertacji autor wskazuje na najważniejsze osiągnięcia w pracy i możliwości aplikacyjne zaproponowanego rozwiązania.

5. Ocena ogólna rozprawy

Rozprawa dotyczy istotnego zagadnienia, a mianowicie analizy porównawczej konwencjonalnego synchronicznego generatora małej mocy z uzwojeniami miedzianymi z generatorem o uzwojeniach nadprzewodnikowych. Można mieć przekonanie, że badania w tym zakresie mogą przyczynić się do opracowania generatora, który znajdzie zastosowanie w przemyśle.

Moje uwagi do pracy mają charakter dyskusyjny. Jednakże proszę autora pracy o odpowiedź na następujące pytania:

1. Co było powodem wybrania oprogramowania FEMM do symulacji? Czy inne pakiety symulacyjne takie jak Femlab czy Matlab miałyby tu również zastosowanie?
2. Do konstrukcji generatora wykorzystano taśmę nadprzewodnikową HTS 2G firmy SuperPower Inc. Typu SF12050. Dlaczego akurat wybrana została taśma tego typu?

3. Proszę o szerszy opis wpływu niskich temperatur na właściwości mechaniczne elementów generatora
4. Czy autor pracy jest w stanie krótko scharakteryzować aspekt ekonomiczny wytworzenia i eksploatacji takiego generatora z uzwojeniami nadprzewodnikowymi? Według informacji zawartych w pracy na rynku brakuje generatorów małej mocy wykorzystujących uzwojenia nadprzewodnikowe. Co może być tego powodem?
5. Jakie są ograniczenia zastosowania opracowanego generatora z uzwojeniem nadprzewodnikowym?

Liczę na ustosunkowanie się Autora do postawionych kwestii.

Zamieszczone powyżej uwagi, komentarze i pytania mają w większości charakter dyskusyjny i w żaden sposób nie przekreślają pozytywnej oceny rozprawy. Jestem przekonana, że Autor poszerzył w swoich badaniach obszar wiedzy, związany z urządzeniami nadprzewodnikowymi, a obszarze technicznym pokazał, że potrafi analizować parametry generatorów małej mocy i wpływać na ich zmiany.

6. Uwagi szczegółowe i redakcyjne

Oprócz uwag o charakterze bardziej ogólnym mam też uwagi, które uważam za mniej istotne:

- a) Napisy na rys. 6.3 sugerują, że stojan ma jednocześnie nawinięte 3 uzwojenia, nie wiadomo jednak w jakim układzie i brakuje liczby zwojów uzwojenia nadprzewodnikowego.
- b) Napisy na rys. 6.5 nie określają jednoznacznie funkcji użytych przyrządów pomiarowych podają za to ich nazwy.
- c) Str. 87 ostatni akapit: „cewka o takiej liczbie zwojów powinna umożliwić uzyskanie wartości napięcia wyjściowego zbliżonego do wartości napięcia generowanego w cewce nadprzewodnikowej” – powinna czy zapewnia?
- d) Rozdział 6. Brakuje uzasadnienia dlaczego do zbudowania uzwojenia miedzianego 17 zwojowego użyto drutu o mniejszej średnicy niż do zbudowania uzwojenia 12 zwojowego.
- e) Str. 107 – linie 20 i 22 oraz ostatnia linia - brakuje jednostek
- f) Autor w pracy posługuje się sformułowaniem „efektywność generatora”. W pracy brak informacji co autor dokładnie przez to rozumie.
- g) W pracy brak jest opisu ograniczeń opracowanego generatora z uzwojeniem nadprzewodnikowym

- h) Str. 101 – zdanie wprowadzające zależność 6.2 jest niedokończone.
- i) Dodatkowo w pracy znajdują się błędy edytorskie, które zapewne są wynikiem wielokrotnej iteracji pracy, aż do momentu powstania opracowania końcowego. Np. str. 47 drugi akapit od dołu „.... Wstępnie ocenić pracy generatora....zakres konicznych zmian....” Czy też podpis pod rysunkiem 7.4 „....z uzwojeniem nadprzewodnikowych w porównaniu...”

7. Wniosek końcowy

Niniejsza recenzja została sporządzona zgodnie z:

- Warunkami określonymi w art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14.03.2003r. w późn. zm. (Dz.U. 2017 poz. 1789) *o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.*
- Art. 179 ust. 1 ustawy z dnia 3 lipca 2018r. prawo wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1669).
- Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego *w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodach doktorskich, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora*

W podsumowaniu mojej opinii stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr. inż. Mieczysława Pciana pt: „*Analiza porównawcza nadprzewodnikowego i konwencjonalnego generatora synchronicznego małej mocy*” stanowi samodzielne rozwiązanie istotnego i oryginalnego problemu naukowego, oraz wykazała, iż doktorant posiadał cechy badacza, pozwalające na prowadzenie samodzielnej pracy naukowej w dyscyplinie elektrotechnika, która odpowiada wg nowej klasyfikacji dyscyplinie: automatyka elektronika i elektrotechnika.

Stwierdzam, że przedłożona mi do zaopiniowania praca doktorska Pana mgr inż. Mieczysława Pciana, nie wymaga uzupełnień ani poprawek i spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez odnośne przepisy. Wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

