

dr hab. inż. Mieczysław Zając, prof. PK
Katedra Automatyki i Technik Informatycznych
Politechnika Krakowska
ul. Warszawska 24
31-155 Kraków

Kraków, 11 października 2017 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. José Gregorio Ferreira De Sá
pt. „Multicriteria Diagnosis of Synchronous Machines”

Praca została wykonana na Wydziale Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej Politechniki Krakowskiej w 2015 r. pod kierunkiem promotora dr hab. inż. Adama Warzechy, prof. PK.

Recenzję wykonałem w oparciu o uchwałę Rady Wydziału Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej Politechniki Krakowskiej z dnia 27.04.2017 r. i w odpowiedzi na pismo Pana Dziekana Wydziału Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej prof. dr hab. inż. Adama Jagiełło z dnia 29.06.2017 r.

1. Dane bibliograficzne rozprawy

Rozprawa zawiera 115 stron. Jest napisana w języku angielskim. Składa się ze wstępu, pięciu rozdziałów, wniosków, listy tabel, listy rysunków i spisu literatury obejmującego w sumie 96 pozycji w porządku alfabetycznym.

W spisie literatury znajdują się 3 pozycje, w których autor rozprawy jest współautorem.

2. Ocena tematu rozprawy

Recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska dotyczy ważnej problematyki wczesnego wykrywania wewnętrznych uszkodzeń w uzwojeniach stojana i wirnika maszyny synchronicznej. Przedstawiono metodę zastosowania wielokryterialnej analizy widmowej monitorowanych prądów do wyodrębniania sygnałów zawierających istotne informacje o uszkodzeniu. Proces wykrywania jest zoptymalizowany i powinien umożliwić wykrycie uszkodzenia maszyny przed wystąpieniem awarii. Wzorcem odniesienia jest widmo prądów maszyny nieuszkodzonej. Zastosowana metodologia powinna zapewnić niezawodne wykrywanie uszkodzeń.

Celem rozprawy jest wykazanie, że tą drogą istnieje możliwość wykrywania wewnętrznych uszkodzeń i ich identyfikacji .

Teza rozprawy zawiera propozycję zastosowania diagnostyki wielokryterialnej opartej na metodzie referencyjnej wykorzystującej obserwację stanu specjalnie zbudowanej maszyny synchronicznej. Rozwiązywanym przez Autora problemem jest możliwie najbardziej efektywny dobór liczby i rodzaju analizowanych sygnałów tworzących wektor cech. Dla porównania różnych cech sygnałów przetworników pomiarowych autor proponuje opracowanie ogólnej metodologii wykorzystującej różnego rodzaju kryteria, opartej o metody statystyczne, i nie związanej z konkretnym zastosowaniem. Jej użyteczność wykazuje poprzez zweryfikowanie dokładności uzyskanych wartości kryterialnych przy ocenie maszyny synchronicznej dla różnego rodzaju uszkodzeń. Celem przeprowadzonych badań jest przetestowanie możliwości zastosowania tej metodologii przez użytkowników silników elektrycznych.

Uważam, że teza rozprawy nie jest przez doktoranta wyraźnie sformułowana w początkowych fragmentach rozprawy. Metoda analizy zarejestrowanych sygnałów i wyszukiwania ich cech przydatnych do diagnozowania stanu maszyny nie została a priori sformułowana w tezie pracy. Pewne jej elementy przedstawia Autor we wstępie, oznaczonym jako rozdział 1, a następnie uzupełnia opis celu swoich badań w kolejnych rozdziałach, głównie w rozdziale 6. Jak wynika z treści rozprawy, opracowanie koncepcji skutecznej metody wyodrębniania istotnych cech z wielu zarejestrowanych sygnałów było poprzedzone wnikliwym przeglądem literatury z zakresu sztucznej inteligencji. Te poszukiwania doprowadziły doktoranta, jak się wydaje dopiero w trakcie wykonywania przez niego badań, do oryginalnego wykorzystania w analizie wyników pomiarowych metodologii stosowanej w uczeniu maszynowym.

W celu potwierdzenia słuszności takiego podejścia autor rozprawy kolejno przedstawił swoje dokonania w zakresie nowoczesnych metod wykrywania wewnętrznych uszkodzeń w uzwojeniach stojana i wirnika maszyny synchronicznej, które mają zapewnić terminowe i niezawodne działanie.

3. Ogólna charakterystyka rozprawy

W krótkim rozdziale wstępnym zatytułowanym „Streszczenie rozprawy” doktorant formułuje ogólny cel swoich badań eksperymentalnych, którym jest opracowanie inteligentnej, wielowymiarowej metody umożliwiającej wczesne wykrycie uszkodzenia maszyny. Ma on go realizować poprzez określenie, które z dostępnych sygnałów czujników pomiarowych najlepiej nadają się do monitorowania i klasyfikacji uszkodzeń. Wstępną tezę postawioną przez doktoranta

jest stwierdzenie, że opracowana metoda pozyskiwania istotnych danych pozwoli na szybkie wykrycie uszkodzeń, nawet w przypadku gdy jest stosowana w połączeniu z wymagającym dużego nakładu obliczeniowego zautomatyzowanym algorytmem monitorowania procesu.

Dla przeprowadzenia prac badawczych rozbudowano istniejącą platformę eksperymentalną, którą przystosowano do przeprowadzania różnych nieinwazyjnych testów z różnymi poziomami istotności. W kolejnym kroku dobrana została optymalna grupa cech, która została następnie użyta do oceny stanu maszyny poprzez zastosowanie algorytmów maszynowego uczenia. W konkluzji tego wstępnego rozdziału doktorant stwierdza, że zaprezentowana przez niego metodologia zdolna jest do sklasyfikowania dziesięciu różnych cech maszyn z dokładnością do 99,5%, a wszystkie etapy niezbędne do jej wdrożenia zostały opisane w kolejnych rozdziałach rozprawy.

W **rozdziale pierwszym** doktorant wyjaśnia motywy, które skłoniły go do podjęcia badań w zakresie diagnostyki maszyn synchronicznych. Ponadto ogólnie przedstawia istotę problematyki diagnozowania maszyn prądu przemiennego oraz krótki przegląd literatury dotyczącej istniejącego stanu wiedzy w tej dziedzinie, ze szczególnym uwzględnieniem diagnostyki wielokryterialnej. Następnie przedstawia ogólny opis zastosowanej przez siebie metody, który można uznać za wstępne przedstawienie celu i tezy rozprawy.

W **rozdziale drugim** doktorant opisuje udostępnioną mu w laboratorium Katedry Maszyn Elektrycznych Politechniki Krakowskiej platformę eksperymentalną, która posłużyła do przeprowadzania szeregu nieinwazyjnych testów i charakteryzuje jej elementy składowe. Przedstawia opis stanowiska ze szczególnym uwzględnieniem własnych modyfikacji zapewniających rejestrację 37 sygnałów z czujników różnego typu. W podrozdziałach 2.4.1 i 2.4.2 opisuje zastosowane czujniki pomiarowe. Oprócz 21 czujników podłączonych przez kolektor sygnałów wirnika, stosuje 16 najczęściej używanych przetworników zewnętrznych dla napięć zasilania, prądu elektrycznego, momentu obrotowego i obrotów. Przedstawia opis specjalnie skonstruowanej maszyny synchronicznej, której najważniejsze parametry wyszczególnia w tabeli 2-1, zaznaczając, że szczegóły konstrukcyjne zaczerpnął z dokumentacji udostępnionej przez prof. K. Weinreba. Przedstawia również specjalnie zaprojektowane i wykonane układy służące do wprowadzania różnego rodzaju asymetrii uzwojeń reprezentujących uszkodzenia wewnętrzne maszyny. W dalszej kolejności przedstawia system akwizycji danych, które uzyskał na opisanym stanowisku badawczym. Plan uzyskania możliwe dużej liczby szeregów czasowych reprezentujących sygnały o stanie maszyny sprawił, że doktorant ograniczył rodzaj zadawanych uszkodzeń do zwarć pomiędzy grupami

cewek uzwojeń stojana (rys. 2-2 i rys 2-3) i wirnika (rys. 2.6). W podrozdziale 2.5 doktorant przedstawił układ przeznaczony do regulowania obciążenia maszyny.

W **rozdziale trzecim** doktorant przedstawia wstępne obliczenia dokonane na podstawie modeli matematycznych. Podaje parametry uzwojeń i zwraca uwagę na wpływ uproszczeń modeli na ustalenie oddziaływania między prądem przepływającym przez uzwojenia i strumieniem magnetycznym przechodzącym przez szczelinę powietrzną. Nietypowy sposób wykonania maszyny utrudnił doktorantowi eliminację efektów pasożytniczych. Doktorant podejmuje więc próbę wyznaczenia sygnałów odpowiadających maszynie idealnie symetrycznej metodą modelowania polowego. W podrozdziale 3.3 opisuje wykorzystanie pakietu MagNet 2D do opisu funkcjonalnego modelu połowo-obwodowego maszyny A+V. Ten symulacyjny model został wykorzystany jako środowisko programistyczne do przeprowadzenia testów.

Doktorant stwierdza, że sformułowany model 2D zapewnia uzyskanie poprawnych przebiegów ustalonych po zaniku stanu przejściowego. Wyniki obliczeń przy wykorzystaniu algorytmu Newtona-Raphsona z wielomianem 2-go rzędu przedstawia w podrozdziale 3.4, definiując konieczne dodatkowe parametry modelu. W podrozdziale 3.5 przedstawia porównanie uzyskanych wyników symulacji z wynikami pomiarów dla rzeczywistej maszyny, które stanowiły punkt odniesienia. W tabeli 3-3 przedstawia porównanie widm prądu w odniesieniu do pierwszej harmonicznej dla: modelu FEM symetrycznego, modelu FEM z asymetrią konstrukcyjną i obiektu rzeczywistego bez zadanych uszkodzeń wewnętrznych. W konkluzji, po wykonaniu testów doktorant stwierdza, że metodologia przy zastosowaniu modeli FEM daje wyniki poprawne jakościowo tylko dla zdrowych lub wyraźnie uszkodzonych maszyn. W innych przypadkach takie modele nie pozwalają na efektywne porównywanie charakterystyk sygnałów.

Rozdział czwarty rozprawy zawiera omówienie metody wykorzystującej cyfrowe przetwarzanie sygnałów. Koncepcja doktoranta polega na wykorzystaniu reprezentacji wzorców sygnałów rzeczywistych uzyskanych metodą cyfrowego przetwarzania sygnałów do dalszej analizy metodami statystycznymi przy wykorzystaniu algorytmów uczenia maszynowego. Uważam, że w doświadczalnej części rozprawy doktorant wykazał praktyczne umiejętności wykorzystania zaawansowanej techniki pomiarowej służącej do gromadzenia i przetwarzania dużych zbiorów danych.

W tabeli 4-1 doktorant definiuje cztery kategorię zmienne opisujące klasę uszkodzenia maszyny: stan maszyny, poziom jej obciążenia, typ uszkodzenia oraz odchyłkę wartości prądu odpowiadającą stopniu uszkodzenia. Klasa uszkodzenia zdefiniowana i zakodowana jest jako kombinacja tych czterech kategorię zmiennych..

W podrozdziale 4.2 doktorant, odnosząc się do opisanego w podrozdziale 2.4 systemu akwizycji danych, definiuje listę 38 zmiennych (37 z czujników i znak czasu). Opisuje etap wstępnego przetwarzania. Ze względu na charakter przetwarzanych sygnałów filtrowanie wykorzystujące metody statystyczne przeprowadza w dwóch krokach, w pierwszym z nich wykorzystując regułę trzech sigm, a w drugim medianę przy uwzględnieniu tylko trzech sąsiednich punktów.

W podrozdziale 4.5 doktorant opisuje pięć zastosowanych metod ekstrakcji cech: w domenie częstotliwości (amplituda, faza), w domenie czasu (21 różnego rodzaju statystyk), wykorzystując transformację Clarke'a oraz transformację Parka. Piąta zastosowana metoda wykorzystuje współczynniki definiowane poprzez stosunki lub różnice pomiędzy amplitudami i fazami porównywanych sygnałów oraz moce czynne i bierne.

W podrozdziale 4.7 doktorant proponuje wykorzystanie języka R typu *open source* jako narzędzia statystycznej analizy danych i uczenia maszynowego (w miejsce używanego wcześniej środowiska MATLAB). Uzasadnia to faktem, że język R jest środowiskiem programowym wysokiego poziomu, zapewnia elastyczność obiektów, posiada wszystkie potrzebne struktury i jest wyposażony w szeroki zestaw funkcji do analiz statystycznych.

W **rozdziale piątym** doktorant przedstawia otrzymane rezultaty zaimplementowania algorytmów liniowych analiz dyskryminacyjnych LDA do wyodrębniania grup cech pozwalających na rozpoznanie stanu maszyny. Po przedstawieniu opisu użytego do klasyfikacji typów uszkodzeń wstępnego wektora cech oraz po określeniu metryki oceny klasyfikacji w podrozdziale 5.4 doktorant stwierdza, że w zestawach danych konieczne jest usunięcie z początkowego wektora cech danych skorelowanych. Na rysunku 5.1 doktorant przedstawia macierz korelacji dla wszystkich dostępnych 114 cech danych skorelowanych. Do usunięcia nieużytecznych cech danych skorelowanych używa funkcji `findCorrelation` z pakietu R „`carret`”. Rysunek 5.2 pokazuje wynik tej operacji przy zastosowaniu ustalonego a priori progu równego 0,9.

Następnie opisuje zastosowanie metody Liniowej Analizy Dyskryminacyjnej (LDA) użytej w kolejnym etapie redukcji wektora cech. Doktorant stwierdza, że zastosowanie tej metody pozwala na identyfikację najważniejszych cech zestawów danych w każdej klasie. Powołuje się przy tym na literaturę dotyczącą zastosowań medycznych, czy też

chemometrycznych. W celu utworzenia nowego wektora cech doktorant stosuje tą metodę do wszystkich opisanych w rozdziale czwartym metod ekstrakcji cech (podrozdziały 5.5.1 i 5.5.2). Dla skrócenia czasu przetwarzania przyjmuje arbitralnie ograniczenia zakresu cech (do liczby 15) podlegających ocenie w danej klasie (str.67).

Doktorant podsumowuje badania przedstawione dla opisanych metod ekstrakcji cech w podrozdziale 5.7. Wymiar wektora cech, który powinien posłużyć do dokonywania oceny stanu maszyny w przypadku trzech typów uszkodzeń o trzech różnych zakresach, zostaje przez niego zredukowany z 6632 do 688 cech. Doktorant dokonuje następnie porównania różnic występujących dla dwóch przypadków obciążenia znamionowego (50% - sp1 i 100% - sp2). W tabeli 5-5 przedstawia sumaryczne rezultaty ekstrakcji cech, a następnie odnosi się do wyników badań uzyskanych metodami statystycznymi w dziedzinie czasu. W podrozdziale 5.9.1 doktorant przedstawia krótki opis użytych do realizacji badań klasyfikatorów (tabela 5-10). Wyniki dokonanej klasyfikacji (dla 20 klas) dla dwóch obciążeń maszyny (sp1 i sp2 – każda po 10 klas) pokazały, że zastosowana metoda nie pozwala na zróżnicowanie stanów maszyny poddanej tym obciążeniom. W konkluzji doktorant stwierdza, że dla prawidłowej klasyfikacji konieczne jest zmodyfikowanie podejścia poprzez przyjęcie odpowiednich założeń.

W podrozdziale 5.10, traktowanym jako przykładowe zmodyfikowane podejście, doktorant przedstawia dwa różne zadania klasyfikacji uszkodzeń. Pierwszy z przykładów dotyczy przeprowadzania klasyfikacji dwóch typów zwarć uzwojenia wirnika, z wykorzystaniem analizy częstotliwościowej (badanie gęstości widmowej mocy prądów w jednej fazie stojana). Przy zastosowaniu klasyfikatorów opisanych w tabeli 5-12 uszkodzenie jest wykrywane na poziomie 90% dokładności, porównując stan normalny i uszkodzony, poprzez wykorzystanie charakterystyk częstotliwościowych prądu fazy R (Ia). Drugim przedstawionym przez doktoranta przykładem jest klasyfikacja zwarć w uzwojeniach faz stojana. Wstępnie analizuje on charakterystyki częstotliwościowe prądu fazowego Ia, przy wprowadzeniu ograniczenia liczby badanych cech (zwarcie lub jego brak) uzyskując maksymalny poziom dokładności 92% (co pokazano w tabeli 5-14). W przypadku, gdy w każdej fazie analizowano 3 typy uszkodzeń, każde z nich na trzech poziomach dokładność wynosi tylko 64% (co pokazano w tabeli 5-15).

W **rozdziale szóstym** doktorant, dla poprawienia jakości klasyfikacji, prezentuje możliwe warianty i udoskonalenia metodyki zastosowanej w rozprawie. Swoje działania ukierunkowuje na poprawę jakości klasyfikacji i dalszą redukcję liczby cech. W podrozdziale 6.2 przedstawia trzyetapową metodologię. Pierwszy etap polega na wyodrębnieniu

optymalnej grupy cech z każdego dostępnego zestawu danych pomiarowych przy zastosowaniu algorytmu LDA (podrozdział 6.2.1). Drugi etap polega na łączeniu wybranych cech w jeden ich zestaw (podrozdział 6.2.2). Trzecim etapem jest modelowanie i porównywanie uzyskanych wyników. Łączna liczba zastosowanych w trzecim etapie klasyfikatorów wynosi 10 (tabela 5-10), a ostateczny zestaw danych treningowych zawiera 21600 obserwacji i 107 cech.

Zastosowana metodologia prowadzi do uzyskania wyników na tym zbiorze testowym na poziomie 99% dla najlepszego z klasyfikatorów (tabela 6-6). W końcowej części rozdziału doktorant przeprowadza krótką dyskusję nad klasyfikatorami i możliwościami ulepszeń prezentowanej metodologii. Nie podaje jednak parametrów ich modeli, ani informacji o ich implementacji w systemie. W oparciu o zdobyte doświadczenie stwierdza, że na kryterium określania liczby cech może mieć wpływ rodzaj wykrywanego uszkodzenia i dostępność sygnałów. Przedstawione w rozdziale szóstym wyniki i wnioski, a także propozycje ukierunkowania dalszych badań (m.in. postuluje przeprowadzenie badań potwierdzających, że wektor cech nie jest zależny od obciążenia) wskazują, że doktorant dogłębnie opanował i przedstawił trudną tematykę.

4. Uwagi o charakterze ogólnym wymagające wyjaśnienia

- Podsumowując rezultaty metod ekstrakcji cech metodą sLDA (podrozdział 5.7) doktorant pokazał w tabelach 5-6, 5-7 i 5-8 zestawienia częstotliwości występowania poszczególnych funkcji statystycznych, czy też rezultat poszukiwania najbardziej istotnych harmonicznych, a także zestawienie najczęściej używanych zmiennych. Przedstawione rezultaty dotyczą jednej z użytych metod ekstrakcji cech zestawionych w tabeli 5-5. Przedstawione zestawienia i ich wybór do prezentacji należałoby skomentować.
- Czy zaprezentowane przez doktoranta metody wielokryterialnej diagnostyki pozwalają na wykrywanie i identyfikację uszkodzenia i stanu pracy maszyny różniące się od tych, które użyto przy uczeniu systemu? Jaka jest skuteczność zastosowanych metod w tych przypadkach?
- Przedstawiając w rozdziale czwartym (4.2) zestawienie 37 rejestrowanych zmiennych, które następnie podlegały przetwarzaniu w systemie, doktorant nie analizował czy różne typy sygnałów (o różniącej je naturze, cechach statystycznych, jak i innych charakterystykach) powinny być przetwarzane przy zastosowaniu tych samych algorytmów, czy może należałoby stosowany aparat matematyczny zróżnicować.

- Uważam, że należałoby szerzej określić w jaki sposób powinien być realizowany wstępny etap przetwarzania (filtrowanie). Dla przetwarzania szeregów czasowych należałoby zdefiniować okna czasowe, w jakich przeprowadzana jest filtracja.
- W podrozdziale 4.4 na str. 45 doktorant stwierdza, że badany przez niego zakres częstotliwości 50 Hz – 2,1 kHz usytuowany jest poniżej „częstotliwości odcięcia”, która ma istotne znaczenie w przypadku badań sygnałów o częstotliwościach przekraczających 3 kHz. Należałoby wyjaśnić to pojęcie.
- Czy przedstawiony wielokryterialny system diagnostyczny nie jest zbyt skomplikowany, a liczba zastosowanych klasyfikatorów nie jest zbyt duża? Czy przy projektowaniu systemu nie należałoby szerzej wykorzystać doświadczenia inżynierskiego?
- Jak pokazano w tabeli 5-5 na str. 82, czasy przetwarzania danych przy zastosowaniu metody sLDA do ekstrakcji cech liczą się w godzinach, z wyjątkiem metody wykorzystującej współczynniki będące funkcjami amplitud i faz porównywanych sygnałów maszyny oraz mocy czynnej i biernej, dla której czas przetwarzania wynosi około 45 minut. W związku z tym jakie jest planowane przez doktoranta docelowe przeznaczenie systemu (diagnostyka on-line, off-line, w jakim zakresie mocy)?
- Z treści rozprawy nie wynika czy po przeprowadzeniu testów prezentowanych metod diagnostycznych doktorant dokonał porównań z metodami opisanymi w cytowanej literaturze. Czy można ogólnie oszacować skuteczność opisanego w rozprawie systemu diagnostycznego w porównaniu z istniejącymi rozwiązaniami?

5. Najważniejsze uwagi szczegółowe

- znaczącym mankamentem rozprawy utrudniającym jej czytanie jest brak wykazu oznaczeń, skrótów oraz symboli, a także niektórych stosowanych pojęć,
- w rozdziale czwartym, w podrozdziale 4.5 dotyczącym modelowania sygnałów oraz obliczania cech, doktorant oznaczył tym samym numerem (4.5.1) dwa różne podrozdziały, jeden dotyczący cech w domenie częstotliwościowej i drugi, opisujący cechy statystyczne w domenie czasowej (problem dotyczy zarówno spisu treści, jak i zawartości rozprawy),
- w rozdziale piątym, w podrozdziale 5.5 dotyczącym zastosowań poszczególnych rodzajów ekstrakcji cech doktorant oznaczył na poziomie niższym trzykrotnie tym samym numerem (5.5.1) trzy różne podrozdziały dotyczące zastosowania ekstrakcji cech trzema różnymi metodami (wykorzystującą różnego rodzaju statystyki w dziedzinie czasu, wykorzystującą przekształcenie Parka i wykorzystującą obliczenia wybranych wielkości elektrycznych) oraz dwukrotnie tym samym numerem (5.5.2) dwa różne podrozdziały dotyczące zastosowań

ekstrakcji cech wykorzystującej transformację Clarke'a i wykorzystującej metody stosowane w domenie częstotliwości,

- w rozdziale piątym, podrozdziale 5.10.1 numeracja dwóch tabel (5-12 oraz 5-13) obrazujących ocenę skuteczności algorytmów klasyfikujących przy identyfikacji zwarć uzwojenia wirnika nie odpowiada numeracji podanej na początku rozprawy w spisie tabel,
- w rozdziale trzecim na str. 23 dwukrotnie powtórzono akapit zaczynający się od słów „The winding function theory...”.
- pomijając nieliczne drobne błędy literowe, należy jednak stwierdzić, że edycja rozprawy, a szczególnie łamanie stron, zostało przeprowadzone niezbyt starannie, wskutek czego utrudnione jest czytanie rozprawy poprzez fragmentami brak bezpośredniej łączności pomiędzy przedstawionymi wynikami a ich opisem.

6. Wartość merytoryczna wyników rozprawy

Recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska jest poprawnym rozwiązaniem postawionego zadania naukowo-badawczego. Jej autor w sposób konsekwentny przedstawia kolejne etapy badawcze zmierzające do potwierdzenia założonych hipotez. Rozpoczyna od sformułowania problemu i przedstawia jego istotę na tle aktualnego stanu wiedzy. Następnie rozwiązuje zadanie badawcze przeprowadzając pomiary przy wykorzystaniu platformy do przeprowadzania bezinwazyjnych testów oraz złożone obliczenia w zakresie eksploracji danych i metod statystycznych. Korzystając z dostępnej literatury, adoptuje niezbędne rozwiązania teoretyczne, w oparciu o które realizuje procedury obliczeniowe. W zakończeniu przedstawia i omawia wyniki dotyczące eksperymentów weryfikujących poprawność przyjętych metod i modeli. Szeroki zakres literatury został dobrany odpowiednio do treści pracy. Brak jest jednak nawet syntetycznego podsumowania oryginalnych osiągnięć doktoranta.

Opracowanie wielokryterialnej metody wczesnego wykrywania uszkodzeń maszyny synchronicznej może posłużyć jako przyczynek do dalszych prac badawczych. Uzyskane przez doktoranta wyniki pozwalają na stwierdzenie, że w przypadku, gdy można dysponować obszernym zbiorem bieżących i archiwalnych danych pomiarowych, wielokryterialna diagnostyka maszyny z zastosowaniem metod uczenia maszynowego może być skuteczna.

Reasumując prezentowana rozprawa stanowi cenny wkład w bardzo ważne zagadnienie jakim jest wykrywanie i identyfikacja uszkodzeń maszyny synchronicznej.

Choć układ rozprawy jest przejrzysty, a materiał graficzny nie budzi zastrzeżeń, to w tekście fragmentami brak jest potrzebnych wyjaśnień i komentarzy przy przedstawianiu stosowanych metod, jak i szerszego odniesienia się do uzyskanych wyników. Autor nie uniknął pewnych niepoprawności, które wyszczególniłem w charakterystyce rozprawy. Podczas obrony proszę Doktoranta o ustosunkowanie się do uwag w niej zawartych.

7. Ocena ogólna i wniosek końcowy

Recenzowana rozprawa doktorska wnosi istotny wkład naukowy w problematykę diagnozowania maszyn elektrycznych. Moim zdaniem stanowi oryginalny dorobek doktoranta i przyczynia się do rozwoju metod diagnostyki maszyn elektrycznych.

Zawarte w tej recenzji uwagi, zarówno ogólne jak i szczegółowe, czy też dyskusyjne nie zmieniają mojej pozytywnej opinii na jej temat oraz na temat samodzielnego dorobku doktoranta. Uważam, że przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska pana mgr inż. José Gregorio Ferreira De Sá stanowi poprawne rozwiązanie trudnego problemu naukowego-technicznego dowodząc Jego umiejętności samodzielnego prowadzenia prac badawczych i naukowych w dyscyplinach z którymi jest związana. .

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że praca pana mgr inż. José Gregorio Ferreira De Sá pt. „Multicriteria Diagnosis of Synchronous Machines” spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez ustawę o stopniach i tytule naukowym z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65 poz.595, z późniejszymi zmianami), w związku z czym rekomenduję ją Radzie Wydziału Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej Politechniki Krakowskiej jako rozprawę doktorską i stawiam wniosek o jej dopuszczenie do publicznej obrony.