

Dr hab. inż. Piotr Bogusz, prof. uczelni
Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza
Wydział Elektrotechniki i Informatyki
Zakład Elektrodynamiki i Systemów Elektromaszynowych
ul. W. Pola 2
35-959 Rzeszów

Rzeszów, 22.11.2024 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Wacława Maciołka pt. „Diagnostyka wirników maszyn indukcyjnych klatkowych w oparciu o model monoharmoniczny”

Promotor pracy: dr hab. inż. Maciej Sułowicz, prof. uczelni,

1. Podstawa formalna

Podstawą formalną wykonania recenzji była uchwała nr 36/2024 Rady Naukowej dyscypliny Automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne Wydziału Inżynierii Elektrycznej i Komputerowej Politechniki Krakowskiej z dnia 16.10.2024.

2. Ocena tematyki rozprawy

Silniki indukcyjne klatkowe są typem maszyn powszechnie stosowanym w napędach wielu gałęzi przemysłu i produkowane są w szerokim zakresie napięć i mocy. Najbardziej popularną konstrukcją maszyn asynchronicznych jest ta z wirnikiem jednoklatkowym.

Ze względu na fakt, że silniki tego typu napędzają urządzenia przemysłowych linii technologicznych, których niekontrolowane zatrzymanie prowadziłoby do dużych strat, istotne jest, aby zapewnić ich wysoką niezawodność. Statystycznie do najczęściej występujących awarii silników indukcyjnych zaliczane są głównie uszkodzenia uzwojeń stojanów, łożysk oraz pozostałych elementów przenoszących moment napędowy. Zniszczenie łożysk i sprzęgieł jest zwykle przyczyną niesymetrii elektromagnetycznych takich jak ekscentryczność statyczna, dynamiczna i mieszana. Jeśli chodzi o awaryjność wirnika w maszynach indukcyjnych małej oraz średniej mocy, pęknięcie prętów klatki ma miejsce wyłącznie w wyniku wadliwego procesu technologicznego. Inaczej jest w przypadku maszyn z klatką spawaną, gdyż do uszkodzenia wirnika dochodzi pod wpływem naprężeń elektrotermicznych wywołanych długotrwałymi stanami przejściowymi (np. rozruchem) w układach napędowych o dużym momencie bezwładności.

Wykrycie wewnętrznych uszkodzeń silnika na wczesnym etapie, które nie powodują istotnej utraty parametrów napędu umożliwia wcześniejsze zaplanowanie i przygotowanie się do jego remontu. W związku z tym bardzo istotna jest ocena techniczna stanu silnika bez konieczności jego zatrzymania. Aby to zrealizować wymagane jest opracowanie metod diagnostycznych, które umożliwią wykrycie uszkodzeń nie wymagających zatrzymania silnika, ale mogących być przyczyną powstania kolejnych - uniemożliwiając tym samym późniejszą jego pracę.

Współcześnie za wysokowydajne systemy diagnostyczne uznawane są układy czasu rzeczywistego wspomagane algorytmami sztucznych sieci neuronowych i zbiorów rozmytych. W tym podejściu wiedza ekspercka zostaje sprowadzona do obserwacji

poprawności procesu zbierania danych i ich przetwarzania. Jednak faktem jest, że o skuteczności wspomnianych systemów decyduje baza informacji wejściowych w postaci zbioru rozwiązań użytego modelu matematycznego.

W przypadku uszkodzeń uzwojeń stojana analiza widma prądów daje często wyniki niejednoznaczne, gdyż widmo składowych prądu się nie zmienia (tj. nie pojawiają się nowe składowe). Można tylko analizować poszczególne składowe pod względem ich wartości.

Inaczej wygląda analiza pracy silnika z uszkodzonym obwodem klatki wirnika, gdyż o zmianach jakościowych prądu fazowego stojana decydują sprzężenia elektromagnetyczne w funkcji kąta obrotu wirnika wprowadzając nowe składowe, które można wykorzystać dla celów diagnostycznych. Z tego wynika, że obserwacja zawartości widma prądu stojana jest skutecznym narzędziem w poszukiwaniu i ocenie stanu technicznego wirnika. Jednak, aby to było możliwe należy posiadać właściwe wzorce diagnostyczne związane z rodzajem rozważanej niesymetrii.

Powszechną metodyką określenia rodzaju uszkodzenia silnika jest wyodrębnienie charakterystycznych składowych prądów stojana silnika odpowiadających danemu typowi uszkodzenia i ich analiza. Realizują się to poprzez opracowywanie modeli matematycznych silników indukcyjnych uwzględniających możliwość analizowania różnych stanów awaryjnych.

W mojej opinii podjęta przez Doktoranta tematyka stworzenia wzorca oceny rodzaju uszkodzenia silnika indukcyjnego klatkowego na podstawie obwodowego modelu matematycznego jest zagadnieniem bardzo ważnym, szczególnie w przypadkach przemysłowych zastosowań silników indukcyjnych.

3. Charakterystyka i ocena układu rozprawy

Recenzowana rozprawa Pana mgr. inż. Wacława Maciołka zawiera ogółem 144 strony w tym wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów, streszczenia w j. polskim i angielskim spis literatury oraz załącznik zawierający spis rysunków (111) i tabel (14).

Oceniana praca składa się z pięciu rozdziałów, literatury oraz załączników. W pierwszym rozdziale zamieszczono wprowadzenie do tematyki związanej z eksploatacją silników indukcyjnych klatkowych i uzasadnienie konieczności ich diagnostyki podczas pracy. W rozdziale tym również omówiono zawartość pracy oraz postawiono tezę, która brzmi: „Istnieje możliwość opracowania zredukowanego modelu matematycznego silnika klatkowego do wymiaru maszyny pierścieniowej z niesymetrią elektryczną wirnika”. Ponadto w ramach rozdziału pierwszego dokonano dość obszernego przeglądu literatury oraz dyskusji na temat dotychczas znanych metod diagnostycznych silników indukcyjnych, jak również omówiono w skrócie zawartość poszczególnych rozdziałów. Główną częścią rozprawy są rozdziały 2 do 4, w których Autor zamieścił kluczowe opisy modeli silnika indukcyjnego oraz wyniki badań symulacyjnych i laboratoryjnych.

W rozdziale drugim „Modele obwodowe silnika indukcyjnego klatkowego” przedstawiono model matematyczny obwodowy silnika indukcyjnego jednoklatkowego z niesymetryczną rezystancją klatki uwzględniający wyższe harmoniczne. Model ten został zapisany w naturalnym układzie współrzędnych, a następnie przekształcony do układu współrzędnych symetrycznych dzięki czemu uzyskano znacznie uproszczony zapis równań modelu. Tak zapisany model stanowi bazową strukturę, na której Autor dokonuje kolejnych przekształceń, umożliwiających analizę uszkodzeń klatki wirnika silnika indukcyjnego. W podrozdziale 2.3 zamieszczono zapis modelu matematycznego silnika dla stanu ustalonego uwzględniający niesymetrię rezystancyjną klatki wirnika oraz wyższe harmoniczne. W oparciu o ten model wykonano szereg symulacji dla przypadków uszkodzenia jednego lub więcej prętów w

wirnika analizując zawartość harmoniczną w prądzie stojana, współczynników k_s i k_{as} oraz składowej prądu $I_{1,-2p}^{s,2}$ będących wskaźnikami diagnostycznymi. W procesie symulacji założono, że rezystancja uszkodzonego pręta będzie zwiększana 100-krotnie, co zgodnie z zamieszczoną na rysunku 2.2 zależnością składowej prądu stojana $I_{1,-2p}^{s,2}$ w funkcji krotności rezystancji jest słuszne. W podrozdziale 2.4 zostały zamieszczone równania monoharmoniczne stanu ustalonego silnika asynchronicznego z niesymetrią rezystancji klatki silnika, który później został wykorzystany do definicji współczynników niesymetrii klatki k_s i k_{as} . Przy redukcji równań założono mały zakres poślizgu, tj. $0 < s < s_N$, co oznacza małą częstotliwość prądu wirnika dzięki czemu zasadne jest pominięcie indukcyjności rozproszeń wirnika. W podrozdziale 2.6 przedstawiono pełny opis modelu obwodowego silnika indukcyjnego klatkowego we współrzędnych fazowych. Model ten w odróżnieniu od poprzednich uwzględnia również dynamikę maszyny. W modelu tym po redukcji równań modelu zdefiniowano wskaźniki diagnostyczne k_s , k_{as} oraz δ . Korzystając z modelu z pełnym odwzorowaniem klatki oraz modelu zredukowanego całkowanych numerycznie, Autor w tabeli 2.4 zamieścił wyniki obliczeń wyznaczonych wcześniej wskaźników dla różnej liczby uszkodzonych prętów klatki wirnika, a następnie zmiany tych wskaźników zostały zwizualizowane na wykresach. Przedstawiony w podrozdziale 2.6 model umożliwił Doktorantowi określenie parametrów diagnostycznych uzależnionych od momentu bezwładności napędu. Zestawienie maksymalnych amplitud składowych widm prądów stojana dla analizowanych przypadków uszkodzeń prętów wirnika (tj. 1, 1 i 2 oraz 1 i 3) dla podstawowej harmonicznej f_0 prądu stojana oraz składowych poślizgowych $f_0(1-2s)$, $f_0(1+2s)$, $f_0(1-4s)$ oraz $f_0(1+4s)$ dla różnych momentów bezwładności i stałego momentu obciążenia zamieszczono w tabeli 2.6. Kolejną serię obliczeń wykonano określając wyżej wymienione wartości amplitud składowych prądu stojana dla jednego momentu bezwładności i różnych momentów obciążenia. Wyniki te zostały zestawione w tabeli 2.7. Z kolei w tabeli 2.8 zamieszczono składowe amplitudy widma momentu elektromagnetycznego dla dwóch momentów bezwładności i różnych momentów obciążenia.

W rozdziale trzecim rozprawy przedstawiono model połowy silnika indukcyjnego klatkowego. Do rozwiązania równań opisujących maszynę asynchroniczną w ujęciu przestrzennym wykorzystano pakiet obliczeń numerycznych MagNet. Autor zasymulował w nim model silnika Sg 112 M4 i przeprowadził obliczenia dla uszkodzenia 1, 1 i 2 oraz 1 i 3 prętów klatki wirnika. W obliczeniach założono liniowy obwód magnetyczny. Zbadano 4 przypadki zmiany momentu bezwładności 2J, 3J, 4J, 5J dla momentu obciążenia 8 Nm. Uzyskane wyniki przedstawiono w postaci rozkładu widma prądu stojana oraz wykresów składowych prądu stojana w funkcji momentu bezwładności jak również zestawiono je w tabeli.

Czwarty rozdział dotyczy badań laboratoryjnych związanych z weryfikacją wyników symulacyjnych uzyskanych na podstawie opracowanych modeli matematycznych. Obiektem badań był silnik Sg 112 M-4 wyprodukowany przez firmę FSE TAMEL w Tarnowie, który posiadał specjalnie wykonany zestaw z wymiennymi podzespołami umożliwiającymi diagnostykę różnych defektów, w tym uszkodzeń prętów klatki wirnika. Badania silnika wykonano na specjalnie przygotowanym stanowisku wyposażonym w momentomierz i prądnicę prądu stałego pełniącą rolę hamownicy. Ponadto stanowisko to było wyposażone w możliwość montażu dodatkowych kół zamachowych umożliwiających zwiększenie momentu bezwładności zestawu. Stanowisko zostało udokumentowane na zdjęciach oraz szczegółowo opisano jego wyposażenie. Do badań wykorzystano cztery wirniki: symetryczny, z uszkodzonym 1 prętem, uszkodzonymi prętami 1 i 2 oraz uszkodzonymi prętami 1 i 3. Dowodem tego są zamieszczone na rysunkach 4.1 i 4.2 zdjęcia wirników w podczerwieni na których widoczne są zaciemnione miejsca o niższej temperaturze prętów, przez które nie płynął prąd. Doktorant na podstawie pomiarów wyznaczył istotne wewnętrzne parametry

silnika, a następnie zrealizował szereg badań analogicznych jak w przypadku badań modeli obwodowych oraz modelu polowego dokonując analizy widmowej prądu stojana dla różnych momentów bezwładności przy stałym momencie obciążenia (Tabela 4.2) oraz jednego momentu bezwładności i różnych momentów obciążenia (Tabela 4.3). Ponadto wykonał serię badań składowych amplitud widm momentu elektromagnetycznego dla analizowanych przypadków uszkodzeń dla dwóch różnych momentów bezwładności i różnych momentów obciążenia (Tabela 4.4). Wyniki zestawione w wyżej wymienionych tabelach zostały również zobrazowane w postaci wykresów.

Rozdział 5 rozprawy jest rozdziałem podsumowującym, w którym Autor dokonał syntetycznego podsumowania redukcji schematów modeli silnika indukcyjnego dla składowej zgodnej i przeciwnej dodatkowo ilustrując wyniki tych przekształceń poprzez schematy zastępcze silnika dla rozpatrywanych przypadków. W podrozdziale 5.3 Autor przeprowadził dyskusję na temat możliwości zastosowania modelu zredukowanego w diagnostyce silników indukcyjnych. Na rysunku 5.7 został przedstawiony wykres porównania wartości składowych prądu stojana $|I_{s-2p}^2|$ w funkcji poślizgu za pomocą modelu pełnego oraz modeli uproszczonych. Następnie Doktorant zwrócił uwagę na to, że sama informacja uzyskana z wyznaczenia amplitud składowych prądu stojana nie daje jednoznacznej informacji o rodzaju uszkodzenia, natomiast uwzględniając opracowane wskaźniki już tak.

Ostatnią pozycją zasadniczej części rozprawy jest spis literatury. Spis ten zawiera 90 pozycji przy czym Doktorant jest autorem jednej i współautorem sześciu publikacji. Wszystkie te publikacje związane są z tematyką modelowania i diagnostyki maszyn indukcyjnych.

Podsumowując uważam, że układ rozprawy jest prawidłowy. Treść rozdziałów i podrozdziałów jest merytoryczna odpowiada im tytułom.

4. Ocena zastosowanych metod badawczych i osiągnięcia Doktoranta

Ocena metod badawczych

Nauki inżynierijno-techniczne charakteryzują się pewnymi cechami, w których aby zrealizować pełny cykl badań powinny być spełnione następujące warunki:

- a) wykonanie przeglądu literatury i rozeznanie, co w danym temacie zostało już zrobione tak, aby wyznaczyć właściwe kierunki dalszych badań,
- b) opracowanie modeli matematycznych i symulacyjnych zaproponowanych rozwiązań i wykonanie odpowiednich wcześniej zaplanowanych badań,
- c) weryfikacja pomiarowa opracowanych teoretycznie rozwiązań, co wiąże się z zaprojektowaniem i wykonaniem stanowiska badawczego i wykonaniem zaplanowanych badań,
- d) analiza, interpretacja i dyskusja osiągniętych wyników oraz sformułowanie wniosków w zakresie osiągnięcia założonych celów naukowych.

Ad.a) W podrozdziale 1.4 Autor dokonał obszernego przeglądu literatury obejmującego zagadnienia modelowania silników indukcyjnych, szczególnie z niesymetrią wirnika, metody modelowania polowego oraz dotyczące analizy i statystyki uszkodzeń silników. Tematycznie przegląd uważam za wystarczający, przy czym chciałem zwrócić uwagę na to, że w spisie literatury brakuje pozycji publikowanych w ostatnich 5 latach, co na pewno rozszerzyło by spektrum zagadnień np. o zastosowanie w diagnostyce sztucznej inteligencji.

Ad.b) W przypadku opracowania modeli matematycznych (rozdziały 2 i 3) tę część pracy oceniam bardzo dobrze. Doktorant wykazał się dużą umiejętnością budowania, przekształcania i redukcji modeli matematycznych silników indukcyjnych z uwzględnieniem ich niesymetrii, co pozwoliło na prawidłową analizę pracy silnika z uszkodzonymi prętami

wirnika. W tym obszarze Autor wypracował oryginalne rozwiązanie w postaci definicji trzech współczynników k_s , k_{as} i δ wyznaczanych dla pracy silnika w zakresie poślizgów mniejszych lub równych znamionowemu. Analiza wartości tych współczynników pozwala jednoznacznie określić rodzaj uszkodzenia klatki wirnika. Szkoda, że w podrozdziale 2.6 Doktorant nie przedstawił przebiegów momentu elektromagnetycznego silnika dla symetrycznego wirnika i z uszkodzonym np. 1 prętem i z uszkodzonymi prętami 1 i 2 oraz 1 i 3. W mojej opinii powinny pojawić się różnice w tych przebiegach w skutek braku prądów w uszkodzonych prętach. W rozdziale 2 wskazana byłaby również informacja o zastosowanych narzędziach wspomagających implementację opracowanych modeli i zwizualizowanie wyników. W rozdziale 3 Autor wykazał się znajomością modelowania badanego silnika metodą polową przy użyciu pakietu MagNet i potwierdził zbieżność wyników uzyskanych z symulacji stanów awaryjnych w modelu obwodowym i polowym z uwzględnieniem wymienionych w rozprawie założeń upraszczających.

Ad.c) Weryfikacja pomiarowa została przeprowadzona na opracowanym i wykonanym przez Doktoranta stanowisku badawczym, którego opis i zamieszczone wyniki badań zostały przedstawione w rozdziale 4. Kluczowym problemem, przed którym został postawiony Doktorant na pewno było wykonanie wirników (bądź zmodyfikowanie) odzwierciedlających rozpatrywane stany awaryjne oraz zestawienie systemu pomiarowego. Opis stanowiska został udokumentowany poprzez zamieszczone zdjęcia. W mojej ocenie mogłoby tutaj zostać zamieszczony jeszcze schemat blokowy stanowiska badawczego. Doktorant po zamieszczeniu wyników pomiarów dokonał krótkiej dyskusji na temat przyczyn różnic w wynikach badań symulacyjnych oraz badań eksperymentalnych.

Ad.d) W rozprawie Autor zmieścił szereg wyników badań symulacyjnych z użyciem modeli pełnych i zredukowanych, modelu polowego oraz badań laboratoryjnych. Wyniki badań zostały przedstawione w postaci tabel oraz zwizualizowane w postaci wykresów. W rozdziale 4 Autor dokonał porównania niektórych wyników badań laboratoryjnych i symulacyjnych. Moim zdaniem interpretacja tych wyników mogłaby zostać lepiej zorganizowana. Zamieszczone istotne wnioski i komentarze są mocno rozproszone. W rozdziale 5, w którym dokonano podsumowania efektów redukcji modeli silnika indukcyjnego, niestety nie dokonano wyraźnej interpretacji wyników uzyskanych drogą symulacji i pomiarów. Być może trudność ta wynikała z mnogości wyników i konieczności rozdzielenia ich na wyniki opracowanych współczynników k_s , k_{as} , oraz δ i różnych przypadków uszkodzeń wirnika oraz wyników uzyskanych z pełnego modelu silnika indukcyjnego uwzględniającego niesymetrię wirnika.

Osiągnięcia Doktoranta

Do istotnych osiągnięć Doktoranta przedstawionych w ocenianej rozprawie zaliczam:

- utworzenie wieloharmonicznego obwodowego modelu na podstawie metody bilansu harmonicznego przy zadanej stałej prędkości wirowania wirnika, linowej charakterystyce magnesowania i teoretycznie nieskończonym widmie składowych przestrzennych,
- utworzenie modelu obwodowego monoharmonicznego całkowalnego numerycznie z równaniem mechanicznym oraz odkształceniem charakterystyki magnesowania wyrażonej za pomocą indukcyjności głównej w funkcji prądu biegu jałowego,
- utworzenie modelu polowego-obwodowego silnika indukcyjnego, uwzględniającego dwuwymiarową geometrię silnika i oddziaływania elektromechaniczne oraz nieliniowość typu parametrycznego,
- uzyskanie wskaźników pozwalających określać stopień niesymetrii klatki, co umożliwia ilościowe porównywanie różnych uszkodzeń klatki wirnika,

- wykonanie stanowiska pomiarowego i przygotowanie specjalnie spreparowanych uszkodzeń klatki wirnika na potrzebę weryfikacji modelu,
- weryfikację opracowanego modelu silnika indukcyjnego klatkowego w oparciu o uzyskane wyniki badań symulacyjnych obwodowych, symulacyjnych polowych oraz eksperymentalnych.

Osiągnięcia te świadczą o umiejętności Doktoranta w zakresie definiowania i rozwiązywania zagadnienia naukowego i samodzielnego prowadzenia prac badawczych. Zdaniem recenzenta praca jest kompletna i nie wymaga poprawek, mimo wyszczególnionych w kolejnym punkcie recenzji uwag, pytań dyskusyjnych i błędów edytorskich.

5. Uwagi, pytania dyskusyjne i błędy edytorskie

Uwagi i pytania dyskusyjne

1. W rozprawie przedstawiono szereg wyników badań symulacyjnych i laboratoryjnych. W moim odczuciu jako czytelnika brakuje bardziej szczegółowych komentarzy do wyników. Patrząc na zestawienie danych zawartych w tabelach i wykresach trudno jest od razu wychwycić zmianę wartości składowych odpowiadających za dane uszkodzenie wirnika. Opis słowny Autora zdecydowanie ułatwiłby czytelnikowi na zmiany jakich składowych należy zwrócić uwagę przy danym uszkodzeniu. Nie oczekuję tutaj rozbudowania opisów, a jedynie zwracam uwagę na to, że w przyszłości publikowania swoich wyników można je bardziej czytelnie opisać.
2. W jaki sposób w praktyce można diagnozować przy pomocy zdefiniowanych przez Pana współczynników k_s , k_{as} oraz δ uszkodzenie klatki wirnika?
3. Czy zamieszczone w rozdziale 2 rozprawy wyniki zostały obliczone przy pomocy jakiegoś pakietu komercyjnego, czy zostały obliczone za pomocą Pana autorskiego programu?
4. Co rozumie Pan pod pojęciem sieci o niskiej zawartości wyższych harmonicznych? Czy silnik był zasilany z sieci energetycznej, czy ze sztucznego źródła zasilania?

Błędy edytorskie

Rozprawa zawiera drobne błędy edytorskie językowe, o których nie będę pisał, gdyż nie wpływają one w żaden sposób na jej merytoryczną zawartość, natomiast poniżej przedstawię zauważone będące ewidentną pomyłką/przeoczeniem Autora, ale również nie wpływają na ocenę merytoryczną rozprawy.

- Na rysunkach 2.9 i 2.10 oraz w Tabeli 2.1 przedstawiono zależności współczynników k_s i k_{as} , których wcześniej nie zdefiniowano.
- Na stronie 41 Autor pisze „... pozwolą zdefiniować trzy współczynniki, które będą obrazowały stan niesymetrii wirnika:”, a we wzorze (2.64) zawarto definicję dwóch współczynników k_s i k_{as} .
- Na rysunku 2.17 brak opisu osi „y”
- Na stronie 62 w pierwszym akapicie pod rysunkiem 2.22 jest odniesienie do numerów (które nie istnieją) wzorów, tj. (2.134) do (2.136), a powinno być (2.131) do (2.133).
- Rysunki 5.5 i 5.6 są takie same, a opisy różne. Rysunek 5.6 nie odpowiada opisowi.
- Rysunek 5.8 ma nieprawidłowy opis zarówno w tekście nad rysunkiem jak i w opisie. Dwukrotnie powtarza się „... dla uszkodzonego 1 i 2 pręta wirnika ...”.

6. Wniosek końcowy

Recenzowaną rozprawę doktorską oceniam pozytywnie. Cel pracy został osiągnięty, a teza pracy w drodze serii badań została udowodniona. Podsumowując mogę stwierdzić, że Doktorant w pełni opanował techniki modelowania matematycznego silnika indukcyjnego z niesymetrią obwodu wirnika. Wykazał się umiejętnością stworzenia dwuwymiarowego polowego modelu badanego silnika indukcyjnego, umiejętnością zaprojektowania i wykonania stanowiska badawczego oraz wykonania badań eksperymentalnych. Wskazane w recenzji uwagi czy pytania mają charakter dyskusyjny i w żadnym stopniu nie umniejszają wartości przedstawionej do oceny dysertacji, a jedynie są wskaźnikiem skłaniającym do głębszej dyskusji wybranych aspektów poruszonych w pracy.

Tematyka rozprawy jednoznacznie wpisuje się w zakres dyscypliny naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne i spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim.

W związku z powyższym stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa mgr. inż. Wacława Maciołka pt. „Diagnostyka wirników maszyn indukcyjnych klatkowych w oparciu o model monoharmoniczny” spełnia warunki określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 z późn. zm.) i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.



dr hab. inż. Piotr Bogusz, prof. uczelni

