



Toruń, 11 lipca 2025 r.

dr hab. inż. Tomasz Tarczewski, prof. UMK
Katedra Automatyki i Systemów Pomiarowych
Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu
ul. Grudziądzka 5, 87-100 Toruń

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Deepaka Vyasa

pt.: **Investigation and synthesis of selected control systems of multi-phase
interior permanent magnet synchronous machine**

1. Podstawa opracowania recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgra inż. Deepaka Vyasa z Politechniki Gdańskiej, pt. „*Investigation and synthesis of selected control systems of multi-phase interior permanent magnet synchronous machine*”. Podstawę opracowania recenzji stanowi pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Gdańskiej, Pana prof. dra hab. inż. Piotra Jasińskiego z dnia 17 kwietnia 2025 r. Recenzja ma być wykorzystana w postępowaniu o nadanie Panu mgr. inż. Deepakowi Vyasowi stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

2. Wprowadzenie

Maszyny elektryczne zużywają około 50% energii elektrycznej wytwarzanej na świecie i odgrywają kluczową rolę wielu gałęziach przemysłu. Wydajne, niezawodne i odporne sterowanie położeniem kątowym lub prędkością wału silnika oraz prądem lub momentem elektromagnetycznym jest przedmiotem badań w wielu ośrodkach naukowych. W porównaniu z napędem o stałej prędkości, napęd o zmiennej prędkości jest preferowany ze względu na oszczędność energii oraz możliwość kształtowania właściwości dynamicznych. Napędy z silnikami synchronicznymi o magnesach trwałych (*ang.* Permanent Magnet Synchronous Motor – PMSM), ze względu na korzystny stosunek momentu do masy, duży zakres regulacji prędkości charakteryzujący się równomiernością ruchu oraz małe mechaniczne stałe czasowe

są stosowane w maszynach sterowanych numerycznie i robotach. W silniku synchronicznym o magnesach zagłębionych w rdzeniu wirnika (*ang.* Interior Permanent Magnet Synchronous Motor – IPMSM) dzięki dużej wartości reaktancji w osi podłużnej możliwe jest osłabianie strumienia w szczelinie powietrznej i praca z prędkością większą od prędkości znamionowej. Cecha ta, w połączeniu z dużą gęstością mocy i niezawodnością, czyni ten silnik atrakcyjnym kandydatem do zastosowań w elektromobilności.

Zapewnienie wysokiej jakości sterowania napędem z IPMSM tj. możliwie wysokiej dynamiki prędkości i dobrej kompensacji obciążenia wymaga zastosowania zaawansowanych algorytmów sterowania. Niezawodność napędu może zostać zwiększona poprzez zastosowanie maszyny wielofazowej oraz rezygnację z czujnika wielkości mechanicznych na rzecz sterowania bezczujnikowego. Większa liczba faz maszyny zapewnia lepszą gęstość mocy w porównaniu do maszyny trójfazowej jednak wymaga bardziej zaawansowanego algorytmu sterowania.

W rozprawie doktorskiej przedstawiono zagadnienia badawcze dotyczące opracowania bezczujnikowego sterowania multiskalarnego dla trójfazowego i pięciofazowego silnika IPMSM. Proces projektowania obserwatora dla maszyny wielofazowej poprzedzono opracowaniem, analizą jakości estymacji i stabilności obserwatorów zmiennych stanu dla maszyny trójfazowej. Opracowano adaptacyjny i nieadaptacyjny obserwator dla maszyny pięciofazowej oraz zaproponowano autorskie algorytmy sterowania multiskalarnego umożliwiające zwiększenie momentu generowanego przez silnik. Wykonano badania symulacyjne i eksperymentalne wybranych metod sterowania bezczujnikowego.

W mojej ocenie tematyka poruszona w rozprawie doktorskiej jest ważna i aktualna zarówno z badawczego jak i aplikacyjnego punktu widzenia. Tematyka ta zawiera się w obszarze badań związanych z automatyką napędu elektrycznego wchodzącego zakres dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

3. Charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Deepaka Vyasa liczy łącznie 162 strony i składa się z 6 rozdziałów obejmujących: wprowadzenie z przeglądem metod sterowania bezczujnikowego, celem i szczegółowym zakresem prac oraz tezami naukowymi, część badawczą obejmującą modelowanie matematyczne rozważanych maszyn, syntezę obserwatorów zmiennych stanu, projektowanie wybranych struktur regulacji, wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych, wnioski i zarys planowanych prac badawczych oraz spis symboli i skrótów, bibliografię i dwa załączniki. Spis literatury zawiera łącznie 145 pozycji, w

tym 1 praca Doktoranta opublikowana w czasopiśmie naukowym posiadającym IF. Analiza źródeł literaturowych została przeprowadzona poprawnie.

W rozdziale pierwszym, będącym wprowadzeniem do rozprawy, autor przedstawił zagadnienia związane z budową silników synchronicznych o magnesach trwałych zamocowanych zarówno na powierzchni wirnika jak i zagłębionych w rdzeniu wirnika, dokonał przeglądu metod estymacji położenia kąтового wirnika oraz rozwiązań w zakresie sterowania i estymacji wielofazowych PMSM oraz zamieścił cel i tezy pracy. Celem rozprawy było opracowanie i przetestowanie (zarówno w badaniach symulacyjnych, jak i eksperymentalnych) algorytmów sterowania bezczujnikowego dla trójfazowego i pięciofazowego silnika IPMSM bazujących na transformacji multiskalarnej. Problem naukowy został sformułowany przez Doktoranta w postaci następujących tez naukowych:

„Proponowana transformacja multiskalna wykorzystana w stacjonarnym układzie współrzędnych pięciofazowego IPMSM dla zdefiniowanych wektorów: $\psi_{f(i)}$, $i_{s(i)}$ i $\psi_{s(i)}$, $i_{s(i)}$, pozwala na określenie statycznych praw sterowania ze sprzężeniem od stanu dla obu strategii sterowania.”,

„W proponowanych strukturach układu sterowania rozważane są klasyczne regulatory proporcjonalno-całkujące (PI), predycyjne i backstepping. Podejścia te zapewniają niezależną regulację zmiennych stanu w podsystemach elektromechanicznym i elektromagnetycznym, nawet jeśli wstrzykiwana jest trzecia harmoniczna.”,

„W proponowanej strukturze układu sterowania wykorzystującej wektory $\psi_{f(i)}$, $i_{s(i)}$ i wektory $\psi_{s(i)}$, $i_{s(i)}$ we współrzędnych stacjonarnych pięciofazowego IPMSM możliwe jest wstrzykiwanie trzeciej harmonicznej w celu zwiększenia wartości momentu wyjściowego.”.

W rozdziale drugim Doktorant przedstawił modele matematyczne rozważanych maszyn elektrycznych. Omówiony został model trójfazowego silnika IPMSM w naturalnym trójfazowym, wirującym prostokątnym ($d-q$) oraz w stacjonarnym prostokątnym ($\alpha-\beta$) układzie współrzędnych. W ostatnim przypadku uwzględniono rozszerzony model siły elektromotorycznej. Następnie Doktorant przedstawił podejście z modelem aktywnego strumienia zmniejszające złożoność obliczeniową podczas projektowania sterowania bezczujnikowego. Koncepcja modelu aktywnego strumienia została następnie zaadaptowana do utworzenia modelu matematycznego pięciofazowego silnika IPMSM. Model ten został przedstawiony w stacjonarnym prostokątnym układzie współrzędnych dla płaszczyzny podstawowej i dla płaszczyzny trzeciej harmonicznej.

Tali

W kolejnych rozdziałach zawarto najbardziej wartościowe treści ocenianej rozprawy doktorskiej. Rozdział trzeci dotyczy obserwatorów dla silników IPMSM i rozpoczyna się od ukazania ogólnej struktury obserwatora pełnego rzędu. Następnie Doktorant omawia adaptacyjne i nieadaptacyjne struktury obserwatorów zaprojektowane dla silnika trójfazowego. Do zaprojektowania obserwatorów wykorzystano omówione w poprzednim rozdziale modele w stacjonarnym prostokątnym układzie współrzędnych: bazujący na wektorze strumienia wirnika oraz na modelu aktywnego strumienia. W obserwatorach adaptacyjnych wprowadzono funkcje stabilizujące oraz mechanizm adaptacji korzystający z funkcji Lyapunova. W strukturze drugiej zrezygnowano z adaptacji i oprócz funkcji stabilizujących zastosowano rozszerzony model siły elektromotorycznej. Omówione rozwiązania zostały zaczerpnięte z literatury i stanowią wprowadzenie do syntezy adaptacyjnego obserwatora bazującego na modelu aktywnego strumienia i zaprojektowanego dla pięciofazowego IPMSM ukazanej w dalszej części rozdziału trzeciego. Następnie na potrzeby doboru wzmacnień obserwatorów i wartości funkcji stabilizujących Doktorant przeprowadził analizę stabilności. Badano stabilność zlinearyzowanych modeli obserwatorów zapisanych w wirującym prostokątnym układzie współrzędnych weryfikując położenie biegunów modeli dla wybranych zbiorów parametrów na płaszczyźnie zmiennej zespolonej. Na podstawie przeprowadzonej analizy Doktorant wykazał konieczność stosowania funkcji stabilizujących. Rozdział czwarty ukazuje bezczujnikowe struktury sterowania dla rozważanych silników synchronicznych o magnesach trwałych. Dla trójfazowego IPMSM omówiona została klasyczna struktura sterowania polowo-zorientowanego z kaskadowymi regulatorami typu PI oraz strategią sterowania zapewniającą zerową wartość składowej d wektora przestrzennego prądu. Dla pięciofazowego IPMSM Doktorant omówił proces syntezy kilku wybranych struktur sterowania rozpoczynając od sterowania polowo-zorientowanego z kaskadowymi regulatorami typu PI i blokiem odpowiedzialnym za maksymalizację momentu elektromagnetycznego. Następnie ukazane zostały autorskie struktury regulacji bazujące na transformacji multiskalarnej i uwzględniające wektory $\psi_{f(i)}$, $i_{s(i)}$ oraz $\psi_{s(i)}$, $i_{s(i)}$. Dla drugiego zestawu wektorów zaproponowane zostały warianty sterowania różniące się zastosowanym modelem multiskalarnym i w konsekwencji mniejszą liczbą regulatorów PI niezbędnych do sterowania silnikiem. Ponadto zaproponowano i szczegółowo wyjaśniono zaawansowane struktury sterowania, takie jak predykcyjne sterowanie multiskalarne przy użyciu wektorów $\psi_{s(i)}$, $i_{s(i)}$ i sterowanie multiskalarne backstepping przy użyciu wektorów $\psi_{f(i)}$, $i_{s(i)}$. W ostatniej części rozdziału czwartego Doktorant omówił sposób doboru wzmacnień regulatorów dla rozpatrywanych struktur regulacji. Wzmocnienia zostały dobrane analitycznie z wykorzystaniem modeli układów regulacji przygotowanych w środowisku Matlab. Doktorant zweryfikował wpływ wybranych

wzmocnień regulatorów na kształt charakterystyk czasowych, częstotliwościowych oraz położenie biegunów na płaszczyźnie zmiennej zespolonej.

Wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych wykonanych dla trójfazowego oraz pięciofazowego napędu z IPMSM ukazano w rozdziale 5. Analiza rozpoczyna się od wyników symulacji i eksperymentów uzyskanych dla adaptacyjnej i nieadaptacyjnej struktury obserwatora zastosowanych w napędzie z trójfazowym IPMSM z klasyczną polowozorientowaną strukturą sterowania. Wyniki ukazują jakość estymacji obserwatorów oraz właściwości dynamiczne i statyczne sterowania podczas rozpędzania, nawrotu oraz dynamicznych zmian obciążenia wykonanych przy stałej prędkości kątowej. Wyniki badań uzyskane dla trójfazowego napędu z IPMSM wykazały, że adaptacyjna struktura obserwatora jest bardziej niezawodna i charakteryzuje się lepszą jakością estymacji prędkości kątowej w porównaniu do struktury bez adaptacji. Następna część rozdziału piątego ukazuje wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych uzyskane dla napędu z pięciofazowym IPMSM. Doktorant wykonał badania dla omówionych w rozdziale czwartym struktur sterowania bazujących na transformacji multiskalarnej i uwzględniających wektory $\psi_{f(i)}$, $i_{s(i)}$ oraz $\psi_{s(i)}$, $i_{s(i)}$ a także dla multiskalarnego sterowania predykcyjnego i backstepping. Ukazana została praca napędu podczas rozpędzania od niezerowej prędkości, nawrotu, w zatrzymaniu oraz kompensacja momentu obciążenia przy stałej prędkości. Analizowano także wpływ wstrzykiwania trzeciej harmonicznej na kształt wybranych sygnałów i wartość generowanego momentu elektromagnetycznego oraz odporność na fluktuacje indukcyjności i rezystancji. Doktorant wykonał również badania wybranych struktur regulacji prędkości silnika pięciofazowego dotyczące pracy w strefie osłabionego strumienia a także, w ograniczonym zakresie, zweryfikował odporność na zanik sygnału prądu fazowego w jednej i w dwóch fazach. Zamieszczone w rozprawie wyniki badań potwierdzają możliwość uzyskania wysokiej jakości regulacji prędkości i momentu napędu z pięciofazowym IPMSM i bezczujnikowym sterowaniem bazującym na transformacji multiskalarnej.

W rozdziale szóstym zamieszczono podsumowanie i wnioski wynikające z przeprowadzonych prac badawczych, wskazano najważniejsze, oryginalne osiągnięcia Autora rozprawy oraz potencjalne kierunki dalszych badań.

4. Ocena rozprawy

W recenzowanej rozprawie doktorskiej przedstawione zostały zagadnienia dotyczące syntezy i analizy bezczujnikowych struktur sterowania prędkością trójfazowego i pięciofazowego IPMSM. Tematyka pracy i przedstawione wyniki są oryginalne i istotne

zarówno w skali krajowej jak i światowej. Zaletą rozprawy jest przedstawienie przez Doktoranta pełnego cyklu badawczego, w którym etap modelowania badanych maszyn i syntezy estymatorów oraz algorytmów sterowania jest poprzedzony przeglądem literatury i uzupełniony wynikami badań symulacyjnych oraz eksperymentalnych. Założony cel badań został zrealizowany a postawione tezy udowodnione.

Autor przygotowując rozprawę wykazał się znaczną wiedzą teoretyczną i praktyczną, umiejętnością prowadzenia badań naukowych oraz poprawnego przedstawienia uzyskanych wyników. Do najważniejszych oryginalnych osiągnięć Autora należy zaliczyć:

- opracowanie modeli matematycznych rozważanych maszyn elektrycznych umożliwiających syntezę estymatorów wybranych zmiennych stanu oraz oryginalnych struktur regulacji,
- opracowanie bezczujnikowych struktur sterowania pięciofazowym IPMSM bazujących na transformacji multiskalarnej i wektorach $\psi_{f(i)}$, $i_{s(i)}$ oraz wektorach $\psi_{s(i)}$, $i_{s(i)}$, dobór wzmacnień regulatorów oraz wykonanie badań symulacyjnych i eksperymentalnych,
- opracowanie predykcyjnego algorytmu sterowania bezczujnikowego pięciofazowym IPMSM bazującego na transformacji multiskalarnej oraz wykonanie badań symulacyjnych i eksperymentalnych,
- opracowanie bezczujnikowego algorytmu sterowania backstepping pięciofazowym IPMSM bazującego na transformacji multiskalarnej oraz wykonanie badań symulacyjnych i eksperymentalnych,
- wykonanie analizy porównawczej opracowanych algorytmów sterowania z klasycznym algorytmem sterowania polowo-zorientowanego.

5. Uwagi dyskusyjne i szczegółowe

Podczas redagowania pracy Autor nie uniknął błędów edytorskich i stylistycznych, np.:

- w tytule podrozdziału 1.2.1 występuje usterka językowa,
- sentencja zamieszczona w drugim akapicie na stronie 5 i rozpoczynająca się od słów: „In INFORM method” nie jest poprawnie zredagowana,
- sentencja rozpoczynająca akapit na stronie 6 i rozpoczynająca się od słów: „Estimation of speed” nie jest poprawnie zredagowana,
- data „1900” wskazana w trzecim akapicie na stronie 7 jest błędna,
- w ostatniej sentencji na stronie 9 występuje usterka językowa,
- liczba par biegunów we wzorze 2.3 nie powinna być oznaczona wielką literą,

- autor wielokrotnie wyjaśnia znaczenie występujących we wzorach tych samych symboli, np. po wzorze 2.8 i 2.22 ponownie wyjaśniono znaczenie R_s , L_d , L_q , J i T_L ; kolejne wyjaśnienie tych samych symboli można znaleźć na przykład na stronie 22,
- we wzorze 3.46 funkcja trygonometryczna nie jest poprawnie zapisana,
- sentencja zamieszczona w drugim akapicie na stronie 32 i rozpoczynająca się od słów: „It can be seen in the observer” nie jest poprawnie zredagowana,
- w ostatniej sentencji na stronie 39 występuje usterka językowa,
- zależności 3.105 oraz 3.106 są tożsame z zależnościami 3.113 i 3.114,
- w zależnościach 4.1 i 4.2 nie uwzględniono liczby par biegunów,
- pierwsza sentencja zamieszczona na stronie 56 nie jest poprawnie zredagowana,
- w tytule podrozdziału 4.3 występuje usterka językowa,
- pierwsza sentencja zamieszczona na stronie 63 nie jest poprawnie zredagowana,
- sentencja rozpoczynająca drugi akapit na stronie 81 nie jest poprawnie zredagowana,
- nazwa FPGA na stronie 106 nie jest poprawna,
- w zdaniu rozpoczynającym trzeci akapit na stronie 108 występuje usterka językowa,
- w bibliografii występują liczne usterki językowe, np. w [30] i w [141] nazwiska autorów zawierają błędy, w [20], [21] i [32] nie wskazano czasopisma lub konferencji; nazwy czasopism podawane są w różny sposób.

Po przeanalizowaniu rozprawy nasuwa się kilkanaście uwag o charakterze dyskusyjnym o różnej wadze merytorycznej, na które proszę Doktoranta o odpowiedź:

1. W podrozdziale 3.5 przedstawiono analizę stabilności obserwatorów. Badano stabilność zlinearyzowanych modeli obserwatorów zapisanych w wirującym prostokątnym układzie współrzędnych weryfikując położenie biegunów modeli dla wybranych zbiorów parametrów na płaszczyźnie zmiennej zespolonej. Jakimi kryteriami kierował się Doktorant przyjmując wartości parametrów, np. γ , c_λ , c_θ na potrzeby analizy? W podsumowaniu przeprowadzonej analizy brakuje wskazania parametrów, które zostały zaimplementowane w badanych napędach.
2. Na rys. 4.9 ukazano schemat blokowy opracowanego sterowania predykcyjnego. Proszę o wyjaśnienie dlaczego sterowanie predykcyjne zastosowano tylko dla pierwszej płaszczyzny a zmienne płaszczyzny drugiej sterowane są przy użyciu kaskadowej struktury regulacji.
3. Zaproponowane przed Doktoranta funkcje kosztu 4.64 i 4.65 stosowane w sterowaniu predykcyjnym znacznie różnią się od powszechnie stosowanych rozwiązań przedstawionych np. w [R1-R3]. Proszę o wyjaśnienie dlaczego Autor nie zastosował

- klasycznej funkcji kosztu, szczególnie w przypadku klasycznego sterowania predykcyjnego omówionego w podrozdziale 4.3.6.
- [R1] J. Rodriguez, et al., "Latest advances of model predictive control in electrical drives – Part I: Basic concepts and advanced strategies," *IEEE Transactions on Power Electronics*, 37.4 (2021): 3927-3942.
- [R2] C. Li, Q. Meng, T. Shi, "A review on model predictive control strategies for AC motor drives," *IET Electric Power Applications*, 18.11 (2024): 1584-1604.
- [R3] J. Peng, Y. Ming, "Overview of predictive control technology for permanent magnet synchronous motor systems," *Applied Sciences*, 13.10 (2023): 6255.
4. Na rys. 4.10 ukazano algorytm opracowanego sterowania predykcyjnego bazującego na transformacji multiskalarnej. Algorytm ten nie jest poprawny, ponieważ nie występuje w nim pętla odpowiedzialna za sprawdzenie wszystkich stanów. Doktorant nie wskazał w tekście rozprawy długości horyzontu predykcji.
5. W podrozdziale 4.3.7 omówione zostało sterowanie backstepping. We wzorach 4.67, 4.70, 4.75 oraz finalnie w 4.84 i 4.89 występuje moment obciążenia T_l , który nie jest widoczny na rys. 4.12. Proszę o wyjaśnienie jaki sposób jest on wyznaczany?
6. Na rys 4.13 ukazano kaskadową strukturę regulacji z regulatorami PI przeznaczoną do regulacji momentu elektromagnetycznego oraz prędkości kątowej IPMSM. Proszę o wyliczenie transmitancji operatorowej ukazanej w bloku zielonym i wyjaśnienie w jaki sposób uzyskano w liczniku tej transmitancji wzmocnienie $T_{v(i)}$. Czy strukturze regulatorów PI uwzględniono ograniczenie sygnału wyjściowego?
7. Na rys. 4.2 oraz 4.3 Doktorant przedstawił schematy blokowe sterowania polowo-zorientowanego odpowiednio dla trójfazowego i pięciofazowego IPMSM. Z literatury, np. [R4] wynika, że wprowadzenie odsprzęgania poprawia właściwości dynamiczne sterowania polowo-zorientowanego. Proszę o wyjaśnienie dlaczego w obu przypadkach nie zastosowano odsprzęgania mimo iż w przypadku sterowania multiskalarnego tożsame rozwiązanie zostało zastosowane.
- [R4] M. P. Kaźmierkowski, R. Krishnan, F. Blaabjerg, eds. *Control in power electronics: selected problems*. Academic Press, 2002, s. 194.
8. Na stronie 81 Doktorant błędnie używa sformułowań „identification” w odniesieniu do procesu doboru nastaw regulatorów PI. Z jakiego powodu podczas wyznaczania nastaw regulatora prędkości Autor nie zastosował aproksymacji pętli prądowej inercją rzędu I, co jest powszechnie stosowanym podejściem? W tabeli 4.1 zestawiono kilka zbiorów nastaw regulatora prędkości. Proszę o wyjaśnienie w jaki sposób autor dobrał wartości graniczne?

- Dlaczego nie zastosował jednej ze znanych metod, np. kryterium symetrycznego optimum? Jakie wartości uzyskałby Doktorant stosując to kryterium?
9. W tabeli 4.2 zestawiono parametry otrzymane dla różnych zestawów nastaw regulatora prędkości. Autor nie wskazał, który zestaw został ostatecznie zastosowany w badaniach oraz jakie kryteria przyjął podczas wyboru.
 10. W omówieniu wyników badań symulacyjnych ukazanych na rys. 5.2 Doktorant wskazuje m.in. na wpływ nieliniowości przekształtnika. Proszę o wyjaśnienie w jaki sposób modelowano przekształtnik na potrzeby badań symulacyjnych?
 11. Wyniki badań symulacyjnych ukazane w podrozdziałach 5.2.1 i 5.2.2 oraz eksperymentalnych zamieszczone w podrozdziałach w 5.3.1 i 5.3.2 nie obrazują startu napędu od zerowej prędkości kątowej. Proszę o przedstawienie takich wyników wraz z omówieniem.
 12. We wstępie do podrozdziału 5.4. Autor wymienia środowiska programistyczne, z których korzystał podczas badań symulacyjnych napędu z pięciofazowym IPMSM. Proszę o przedstawione informacje na temat parametrów przyjętych podczas symulacji, np. solver, okres dyskretyzacji, tolerancja obliczeń.
 13. Omawiając wyniki badań eksperymentalnych ukazane na rys. 5.46 Autor wskazuje na poprawę właściwości dynamicznych napędu z pięciofazowym IPMSM po wprowadzeniu trzeciej harmonicznej. Proszę o bardziej precyzyjne wskazanie, które właściwości uległy poprawie.

6. Podsumowanie

Powyższe uwagi mają charakter dyskusyjny i nie wpływają na pozytywną ocenę rozprawy mgra inż. Deepaka Vyasa z Politechniki Gdańskiej. Recenzowana rozprawa doktorska pt. *„Investigation and synthesis of selected control systems of multi-phase interior permanent magnet synchronous machine”* zawiera rozwiązanie problemu naukowego, świadczy o dobrej wiedzy autora w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. Przedstawione w rozprawie zagadnienia obejmują najnowsze osiągnięcia nauki i świadczą o bardzo dobrej znajomości tematyki prezentowanej przez Autora. Zaproponowane bezczujnikowe struktury sterowania pięciofazowym IPMSM bazujące na transformacji multiskalarnej mogą być podstawą dalszych prac zmierzających do implementacji przemysłowych w aplikacjach wymagających efektywności i podwyższonego stopnia bezpieczeństwa, np. w elektromobilności.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgra inż. Deepaka Vyasa z Politechniki Gdańskiej, pod tytułem *„Investigation and synthesis of selected control systems of multi-*

phase interior permanent magnet synchronous machine” stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim, wymienione w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2016 r. poz. 882 i 1311) z późniejszymi zmianami.

W związku z powyższym wnioskuję do Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Gdańskiej o dopuszczenie pracy doktorskiej mgr inż. Deepaka Vyasa do publicznej obrony.

Tomasz Jawuowski