dr hab. inż. Ryszard Beniak, profesor uczelni
Politechnika Opolska
ul. Prószkowska 76
45-758 Opole
tel. +48 77 449 8001; kom. 502565469

Opole, 9 listopada 2026 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. Mateusza Daraża

pt. „Ograniczenie tętnień prądu zasilania maszyny reluktancyjnej przełączalnej"
opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny
Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne
Politechniki Rzeszowskiej – prof. dra hab. inż. Andrzeja Kolka

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgra inż. Mateusza Daraża. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Piotr Bogusz, prof. Politechniki Rzeszowskiej a promotorem pomocniczym dr inż. Dariusz Sobczyński. Rozprawa jest ulokowana w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie: automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Opiniowana rozprawa doktorska została przygotowana w języku polskim. Zgodnie z numeracją autora rozprawa obejmuje: 125 stron zasadniczego tekstu. Przekazany egzemplarz zawiera ponadto: stronę tytułową, streszczenia w języku polskim i angielskim, spis treści i dodatek.

Część zasadnicza dysertacji zawiera:

- Wstęp wraz z tezą rozprawy i opisaną zawartością pracy,
- Opis działania maszyn reluktancyjnych przełączalnych z uwzględnianiem problemów występujących w tego typu napędach oraz wskazaniem potencjalnych zysków wynikających z ograniczenia wartości skutecznej prądu źródła,
- Model matematyczny i symulacyjny maszyny reluktancyjnej przełączalnej,
- Opis sposobów minimalizacji tętnień prądu źródła przy wykorzystaniu filtrów pasywnych i aktywnych,
- Opis metody sterowania filtrem aktywnym skojarzonym z badaną maszyną reluktancyjną przełączalną,
- Rozbudowane wyniki badań symulacyjnych,
- Wyniki badań laboratoryjnych obejmujące główne aspekty pracy napędu a także wnioski wynikające z przeprowadzonych badań oraz
- Krótkie podsumowanie.

WPŁYNĘŁO
16. LIS. 2026
KIEROWNIK SEKRETARIATU ADMINISTRACYJNY
Wydziału Elektrotechniki i Informatyki
mgr inż. Renata Fularska

Cel, zakres i charakter rozprawy

Tematyka rozprawy mieści się w obszarze współczesnych systemów napędowych. Zasadniczym problemem, rozwiązanym w rozprawie, jest minimalizacja wartości skutecznej prądu źródła zasilającego napęd w skład którego wchodzi maszyna reluktancyjna przełączalna poprzez minimalizację zawartości wyższych harmonicznych w prądzie źródła.

Celem pracy było opracowanie modyfikacji zasilania maszyny reluktancyjnej przełączalnej poprzez wykorzystanie filtru aktywnego, opartego na przetwornicy podwyższającej napięcie, w sposób pozwalający na minimalizację tętnień w prądzie zasilającym napęd. Dodatkowym warunkiem uwzględnionym w toku badań było takie dobranie sterowania przetwornicy podwyższającej napięcie, aby utrzymywać filtr w punkcie pracy o możliwie największej sprawności dla danego stanu pracy napędu. W tym sensie praca jest połączeniem badań teoretycznych i eksperymentalnych. Podkreślić należy, że autor pracy nie ograniczył się do pojedynczego algorytmu sterowania ale wykonał jego modyfikacje poprawiające pracę napędu dla niskich prędkości obrotowych silnika.

Zakres pracy doktorant zrealizował poprzez następujące działania:

- Opis właściwości i zasady działania silnika reluktancyjnego przełączalnego,
- Opis budowy i analizę działania przetwornic,
- Wybór przetwornicy podwyższającej napięcie jako najlepszego rozwiązania pozwalającego na minimalizację tętnień prądu w źródle zasilającym,
- Zaproponowanie metody sterowania przetwornicą wykorzystywaną w charakterze filtru aktywnego i modyfikacje tej metody sterowania pozwalające na zmniejszenie zawartości harmonicznych w prądzie zasilającym dla małych prędkości obrotowych napędu,
- Zaproponowanie algorytmu zabezpieczającego elektronikę napędu przed niekontrolowanym wzrostem napięcia obwodu pośredniczącego mogącego występować w stanach dynamicznych,
- Zaproponowanie wskaźnika *FF* (Form Factor) pozwalającego na analizę skuteczności proponowanego rozwiązania filtracji aktywnej,
- Przeprowadzenie badań pozwalających na określenie wpływu przedziału kąta zasilania faz na wartość wskaźnika *FF*,
- Przeprowadzenie licznych badań laboratoryjnych obejmujących sterowanie jednopulsowe z działającym filtrem aktywnym i bez działającego filtru dla: wybranych napięć zasilających, wybranych prędkości obrotowych i wybranych momentów obciążenia.

W rozdziale 1 doktorant przedstawił główne właściwości maszyny SRM powołując się przy omawianiu tych właściwości na 38 pozycji literatury. Analizując wymienione pozycje literatury można stwierdzić, że doktorant wykazał się znajomością zagadnień z obszaru wiedzy dotyczącej jego pracy doktorskiej. W rozdziale 1. przedstawiono także tezę rozprawy zgodnie z którą *„Zastosowanie w torze zasilania napędu SRM aktywnego filtra prądu źródła*

zsynchronizowanego z algorytmem zasilania uzwojeń maszyny SRM, zapewni ciągły i pozbawiony tętnień przebieg tego prądu w bardzo szerokim zakresie pracy napędu". W badaniach symulacyjnych zmierzających do wykazania poprawności tezy posłużono się siedmioma założeniami uproszczającymi dotyczącymi: idealności łączników półprzewodnikowych, występowania w filtrze dzielonej pojemności, braku pacy w nasyceniu obwodu magnetycznego filtra, symetrycznej budowy maszyny SRM, możliwości pracy w nasyceniu obwodu magnetycznego silnika, pominięciu prądów wirowych i występowaniu w źródle zasilającym rezystancji. Rozdział drugi zawiera opis budowy układu zasilania maszyny SRM, definiuje podstawowe zależności dotyczące tej maszyny oraz przedstawia potencjalne zyski wynikające z ograniczenia wartości skutecznej prądu źródła. W rozdziale 3. przedstawiono model matematyczny i symulacyjny maszyny reluktancyjnej przełączalnej wraz z układem jej zasilania. W rozdziale tym opisano też skrótowo estymację momentu elektromagnetycznego w maszynie SRM. W rozdziale czwartym opisano sposoby minimalizacji tętnień prądu źródła zasilającego napęd. W rozdziale 5. przedstawiono metodę sterowania filtrem aktywnym oraz opisano algorytmy takiego sterowania a także implementację tych algorytmów w strukturze pełnego modelu napędu SRM. Rozdział szósty przedstawia rozbudowane wyniki badań symulacyjnych. Badania te uwzględniały także obszar niskich prędkości obrotowych maszyny SRM i nagłe zmiany momentu obciążenia w stanach dynamicznych. Przedostatnim rozdziałem jest rozdział 7. prezentujący szerokie wyniki badań laboratoryjnych. Część zasadniczą pracy kończy rozdział 8. będący jej podsumowaniem.

Opinia na temat rozprawy

Dysertacja bazuje na wstępnych doświadczeniach autora, które zawarte są w publikacji: P.Bogusz, M. Korkosz, J. Prokop, M. Daraż, „Analysis Performance of SRM Based on the Novel Dependent Torque Control Method", Energies, 2021. Poruszony w dysertacji problem badawczy nie ma wyłącznie charakteru teoretycznego ważne są także jego praktyczne aspekty.

Teza pracy sformułowana następująco: *„Zastosowanie w torze zasilania napędu SRM **aktywnego** filtra prądu źródła zsynchronizowanego z algorytmem zasilania uzwojeń maszyny SRM, zapewni ciągły i pozbawiony tętnień przebieg tego prądu w bardzo szerokim zakresie pracy napędu*" jest tezą sformułowaną w sposób mocny ze względu na sformułowanie *„...zapewni ciągły i pozbawiony tętnień przebieg tego prądu w bardzo szerokim zakresie pracy napędu"* ze szczególnym uwzględnieniem *„...pozbawiony tętnień przebieg tego prądu..."*. Badania symulacyjne i pomiarowe popierają jednak tę tezę w sposób całkowicie wystarczający i wobec powyższego w mojej opinii jako recenzenta przyjęta teza została co do zasady potwierdzona. Występują co prawda, w symulacjach i pomiarach, małe tętnienia prądu źródła jednak są one na całkowicie akceptowalnym poziomie. Jedyne zasadnicze odstępstwo pod względem destabilizacji prądu źródła występuje w stanach dynamicznych przy skokowym załączeniu lub skokowej zmianie momentu obciążającego (Rysunki: 6.36, 7.28 i 7.29 zawarte w rozprawie doktorskiej). Na uwagę zasługują szerokie badania

symulacyjne i obszerne pomiary zmierzające do dokładnego zobrazowania i określenia możliwości minimalizacji tętnień prądu źródła w szerokim zakresie pracy napędu. Bardzo pozytywnie oceniam także wyciąganie wniosków z przeprowadzonych symulacji i pomiarów pozwalające na poprawę/usprawnienie stosowanych algorytmów sterowania filtra aktywnego. Prezentowane w pracy rysunki potwierdzają całkowitą poprawność działań w tym zakresie. W mojej ocenie uzyskanie efektywnego końcowego algorytmu sterowania filtrem aktywnym stanowi najważniejszy element, mającego także zastosowanie praktyczne, wkładu naukowego doktoratu. Powołanie się w rozdziale pierwszym na 38 wybranych pozycji literatury spośród 68 pozycji wymienionych w literaturze wskazuje na dokładną analizę literatury. Pozwoliło to na przedstawienie w sposób kompleksowy argumentów potwierdzających poprawność tezy zamieszczonej w pracy doktorskiej.

Oceniając wkład autora rozprawy do rozwoju nauki i techniki można wskazać przede wszystkim: opracowanie algorytmu sterującego filtrem aktywnym pozwalającego na uzyskanie najwyższej możliwej sprawności filtra przy zachowaniu synchronizacji działania filtra z napędem reluktancyjnym przełączalnym; opracowanie dla tak działającego filtra systemu zabezpieczeń elektroniki badanego napędu; wykonanie, odzwierciedlającego w dużym stopniu pracę rzeczywistego napędu, modelu symulacyjnego oraz zaprojektowanie i wykonanie układu filtra aktywnego stosowanego w badaniach pomiarowych.

Na podkreślenie zasługuje także staranność napisania pracy i jej zwięzłość oraz jakość zamieszczonych w pracy rysunków.

Uwagi szczegółowe

Na podstawie analizy pracy stwierdzam, ze układ pracy jest właściwy. Przedstawiony materiał dokumentuje znaczący zakres wykonanych badań symulacyjnych oraz obszerność przeprowadzonych pomiarów. W trakcie czytania pracy pojawiły się jednak nieliczne uwagi redakcyjne obejmujące najczęściej literówki i pewne uwagi merytoryczne. Pragnę podkreślić, że uwagi merytoryczne mają jedynie charakter dyskusyjny i nie umniejszają pozytywnej oceny recenzowanej pracy.

Uwagi redakcyjne

Skupiono się w tym miejscu jedynie na zauważonych literówkach bądź błędach stylistycznych:

- strona 30 jest „część odgrywają" a powinno być: część odgrywa,
- strona 31 jest „Rysunek 4.2" a powinno być: Rysunek 4.3,
- strona 39 jest „nadążną regulacje" a powinno być: nadążną regulację,
- strona 47 jest „zamykają ją" a powinno być: zamyka ją,
- strona 122 jest „mające na celu ustalić wpływ" lepszym jest: mające na celu ustalenie wpływu,
- strona 122 jest „w przetwornice filtracyjną" a powinno być: w przetwornicę filtracyjną.

Uwagi merytoryczne

1) Tezę sformułowano w sposób mocny ze względu na sformułowanie *„...zapewni ciągły i pozbawiony tętnień przebieg tego prądu w bardzo szerokim zakresie pracy napędu"* ze szczególnym uwzględnieniem *„...pozbawiony tętnień przebieg tego prądu..."* jednak jak widać z zamieszczonych wyników symulacji i pomiarów w prądzie zasilania występują drobne tętnienia. Czy doktorant może wskazać możliwe modyfikacje tezy uwzględniające ten fakt?
2) W pracy na stronie 24 w podrozdziale 3.2 doktorant napisał „Na podstawie tych danych można obliczyć moment elektromagnetyczny w stanach dynamicznych." Czy doktorant może szczegółowo przedstawić proces takiego obliczenia?
3) Analiza równań 5.4 do 5.6 wskazuje, że cześć warunku z równania 5.5 jest powtórzeniem warunku z równania 5.6 ze względu na negację A i konsekwencje prawa de Morgana. Czy doktorant mógłby przedstawić analizę logiczną tych wyrażeń logicznych?
4) Jaki dokładnie model elementów energoelektronicznych zastosowano w procesie symulacji napędu w Simulinku. Jeśli ten model jest idealnym łącznikiem to w jaki sposób uwzględniono w symulacji spadki napięcia na elementach energoelektronicznych? Ponadto proszę, w przypadku braku uwzględnienia spadków napięć na elementach energoelektronicznych, o odpowiedź na pytanie. Jaki jest wpływ braku uwzględnienia spadków napięć na elementach energoelektronicznych na wyniki symulacji?
5) Bardzo proszę o wyjaśnienie jak doktorant rozumie sformułowanie ze strony 49 „Szerokość generowanych impulsów przez przerzutnik RS może być regulowana czasem, który w tym przypadku wynosi dwie iteracje symulacji".
6) W Tabeli 7.1 zawarto dla włączonego filtru aktywnego w parametrach obwodu zasilania wielkość R_{con}. Proszę. aby doktorant oszacował wartość: minimalną, maksymalną i średnią tego parametru.
7) Porównując rysunki: 7.8 z 7.22 i 7.23 widać, że na rysunku 7.8 brakuje charakterystyk dla mocy mechanicznej poniżej 750 W (fragmenty zamieszczone na rysunkach 7.22 i 7.23). Bardzo proszę o omówienie zachowania współczynnika *FF* w tym brakującym obszarze.
8) Na Rys. 7.8 przedstawiono zależność współczynnika *FF* od mocy mechanicznej silnika. Proszę aby doktorant odpowiedział na pytanie. Czy przyczyną znacznego pogorszenia wartości współczynnika *FF* dla E_s=39 V jest przeciążenie maszyny?
9) Na rysunkach 7.28 i 7.29 przedstawione są oscylogramy dla przypadku zmodyfikowanego i standardowego algorytmu sterownia filtra. Jednak te oscylogramy dotyczą jedynie napięcia źródła zbliżonego do 39 V. Czy doktorant mógłby przedstawić tego typu oscylogramy dla napięcia źródła zbliżonego do 49 V? Pozwoli to na odpowiedź na pytanie. W jaki sposób (jakościowo i ilościowo) oscylogramy dla napięcia źródła 49 V różnią się od zaprezentowanych na rysunkach 7.28 i 7.29?

10) Jak widać na rysunkach poprawa jakości pod względem zmniejszenia zawartości harmonicznych w prądzie zasilającym i_s wiąże się, na skutek działania filtra, z pogorszeniem sprawności całego napędu. Proszę o odpowiedź na pytanie. W jakich warunkach zastosowanie filtracji jest energetycznie/ekonomicznie uzasadnione?
11) Kontynuując aspekty zawarte w pytaniu 10. proszę o omówienie jak wpływa na właściwości energetyczne napędu z maszyną SRM odejście od określonego dla maszyny punktu pracy?

Konkluzja

Całość przygotowanej rozprawy doktorskiej wskazuje na opanowanie warsztatu naukowego przez doktoranta. Przedstawiona praca zawiera interesujące wyniki badań symulacyjnych i pomiarów. Autor określił istotny problem występujący w zasilaniu napędów z maszynami SRM i zaproponował skuteczny sposób minimalizacji tego problemu poprzez całkowicie poprawny sposób/algorytm sterowania filtrem aktywnym. Wykorzystując ten algorytm i zbudowany przez siebie filtr aktywny autor wykazał, w całkowicie zadowalającym stopniu, poprawność tezy pracy. Tę poprawność potwierdziły zarówno badania symulacyjne jak i pomiary, które można traktować jako praktyczną walidację koncepcji i celu pracy.

W mojej ocenie rozprawa doktorska mgra inż. Mateusza Daraża pt. „Ograniczenie tętnień prądu zasilania maszyny reluktancyjnej przełączalnej" spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim i w szczególności: prezentuje ogólną wiedzę kandydata w dyscyplinie, potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej oraz zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Zgodnie z zaprezentowaną powyżej oceną merytoryczną rozprawy Pana mgra inż. Mateusza Daraża stwierdzam, że opiniowana praca spełnia warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 z późniejszymi zmianami).

Dlatego też stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgra inż. Mateusza Daraża do publicznej obrony zgodnie z procedurą określoną przez Radę Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Rzeszowskiej.

Ryszard Beniak

dr hab. inż. Ryszard Beniak, profesor uczelni