

Recenzja

o rozprawie doktorskiej mgr inż. Marka Nowaka pt.
**„Zastosowanie regulatora proporcjonalno-rezonansowego w
energoelektronicznych przekształtnikach sieciowych”.**

1. Wstęp

Niniejszą recenzję napisałem na prośbę Pana Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Rzeszowskiej będącą realizacją Uchwały nr 9/01/RDAEEiTK/2025 Rady Dyscypliny z dnia 22 stycznia 2025 r.

Rozprawa doktorska przygotowana przez mgr inż. Marka Nowaka poświęcona jest oryginalnej implementacji cyfrowej regulatora proporcjonalno-rezonansowego (P+R) i jego zastosowaniu do sterowania energoelektronicznych przekształtników sieciowych. Realizowana tematyka jest bardzo interesująca z uwagi na nowatorskie zastosowanie tego typu regulatorów do regulacji prądów energoelektronicznych falowników napięcia. Rozprawa Pana M. Nowaka jest kolejną pracą naukową realizowaną w Zespole Pana prof. Stanisława Piróga.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Marka Nowaka zawiera 9 rozdziałów oraz bibliografię obejmującą 69 pozycji literatury oraz 10 pozycji literatury uzupełniającej. Całość rozprawy przedstawiona jest na 121 stronach. Autor sformułował następujący cel rozprawy (str. 14)

„.....*polegający na opracowaniu nowego sposobu implementacji regulatora P+R , który będzie prostszy od dotychczas stosowanych oraz umożliwi łatwe parametryzowanie*”.

Dla realizacji założonego celu rozprawy Doktorant określił zakres pracy składający się z następujących zagadnień:

- studia literaturowe (analiza i synteza) dotyczące regulatora P+R,



WPŁYNĘŁO

17. LUT. 2025

POLITECHNIKA RZESZOWSKA
Instytut Inżynierii Elektrycznej i Informatyki
35-059 Rzeszów, ul. W. Pola 2
tel. 17 743 2429, 2430; 17 865 1998

- badania symulacyjne wybranej struktury przy założonych warunkach napięcia w węźle sieci niskiego napięcia (wahania napięcia, odchyłki częstotliwości, harmoniczne odkształcenia napięcia),
- implementacja wybranej struktury do technologii FPGA i jej badanie,
- realizacja stanowiska badawczego z falownikiem jedno – i trójfazowym,
- badania działania regulatora w układzie jednofazowym z kontrolą prądu czynnego,
- rozbudowa układu regulacji o możliwość kontroli prądu biernego przez wprowadzenie wirtualnego układu trójfazowego,
- badania eksperymentalne układu trójfazowego z niezależną kontrolą prądów czynnych i biernych,
- opracowanie i prezentacja wyników badań i wniosków.

W pracy badawczej Autor konsekwentnie dąży do osiągnięcia celów rozprawy posługując się metodami analitycznymi z teorii obwodów, symulacji komputerowej (metoda HIL) oraz pomiarami w eksperymentalnym układzie regulatora z wykorzystaniem programowalnego układu FPGA, jako sposobu weryfikacji praktycznej wyników teoretycznych i symulacyjnych.

W Rozdziale I Doktorant przedstawia aktualny stan wiedzy dotyczący regulatora P+R i dotychczasowe rozwiązania. W rozdziale tym Doktorant opisał swoją nowatorską koncepcję tego typu regulatora bazując na wcześniejszych publikacjach [42, 43] jakich był współautorem.

W Rozdziale II Autor zamieścił syntezę tego regulatora za pomocą podstawowych bloków funkcyjnych.

W Rozdziale III Doktorant opisał zasadę współpracy przekształtnika sieciowego z zewnętrznym źródłem energii na bazie uproszczonego modelu jednofazowego.

Rozdział IV zawiera opis i wyniki symulacji pracy jednofazowego oraz trójfazowego falownika sieciowego z regulatorem P+R.

Rozdział V rozprawy zawiera wyniki badań symulacyjnych w czasie rzeczywistym pracy regulatora P+R wykonanego w układzie FPGA z układzie jednofazowym jak i trójfazowym napięciowym falownikiem sieciowym.

Rozdział VI zawiera wyniki badań i pomiarów porównawczych dynamiki pracy regulatora P+R z regulatorem PI.



Rozdział VII zawiera wyniki laboratoryjnych badań eksperymentalnych pracy falownika sieciowego ze źródłem niskiego napięcia. Doktorant przedstawił wyniki testów laboratoryjnych następujących stanach eksploatacyjnych sieci elektroenergetycznej:

- rozruch urządzenia do mocy znamionowej,
- skokowa zmiana mocy zadanej,
- praca z częstotliwością napięcia linii zasilającej, inną niż rezonansowa,
- praca z odkształconym napięciem linii zasilającej,
- praca podczas spadku lub zapadu napięcia linii.

W rozdziale tym Doktorant opisał również sposoby detekcji fazy napięcia linii zasilającej takie jak pętla fazowa SFR-PLL czy generator kwadraturowy. Dla obu tych sposobów Autor wykonał implementację do układu FPGA i przeprowadził liczne testy laboratoryjne.

W Rozdziale VIII zamieszczone są wyniki badań współpracy regulatora P+R z siecią o częstotliwości 400 (Hz).

Rozdział IX jest podsumowaniem wykonanych badań Doktoranta i ich oceną.

3. Ocena tematu, obszaru i sposobu prowadzonych badań

Przedstawiona do oceny rozprawa dotyczy nowatorskiej implementacji regulatora P+R do struktur cyfrowych co umożliwiło łatwiejsze i bardziej dynamiczne sterowanie energoelektronicznymi napięciowymi falownikami. Tym sposobem Doktorant mógł zastosować wybrany typ regulatora do sterowania falownikami sieciowymi (jedno lub trójfazowymi) współpracującymi w systemach odnawialnych źródeł energii (np. pv) przyłączonych do sieci niskiego napięcia. W takich systemach wymagana jest synchronizacja dwóch źródeł energii elektrycznej. Jest to warunek konieczny i wystarczający do bezpiecznego transferu energii ze źródła DC (np. pv) do publicznej sieci nn AC.

Moim zdaniem propozycja Doktoranta jest oryginalnym podejściem do wykorzystania techniki cyfrowej w sterowaniu wybranymi układami energoelektronicznymi. Koncepcja ta wymagała rozwiązania szeregu problemów tak naukowych jak i technicznych.

Recenzentowi nie są znane publikacje światowe zbliżone do tematyki przedstawionej w opiniowanej rozprawie. Tym samym stwierdzam, że tematyka rozprawy jest unikalna. Wykorzystaniem topologii regulatorów typu P+R do praktycznych zastosowań zajmuje się wiele ośrodków naukowych na świecie. Tematyką tą interesuje się liczne grono naukowców stąd oryginalna implementacja przedstawiona przez Doktoranta zasługuje na szczególne podkreślenie.

Do realizacji oraz weryfikacji celów rozprawy Doktorant zastosował wszystkie dostępne metody badań w tym:

- syntezę regulatora P+R,
- badania symulacyjne (z użyciem programu IsSpice) falowników jedno- oraz trójfazowych pracujących z regulatorami P+R,
- implementację regulatora do cyfrowej struktury FPGA co pozwoliło doktorantowi na przeprowadzenie symulacji komputerowej w czasie rzeczywistym,
- wykonanie stanowisk laboratoryjnych zawierających jedno- oraz trójfazowy falownik z regulatorami P+R oraz przeprowadzenie obszernych badań laboratoryjnych w rzeczywistych warunkach pracy systemu DC/AC,
- oryginalne badania zastosowania regulatora P+R w warunkach pracy systemu pokładowego obiektu pracującego z częstotliwością 400 (Hz).

Charakter rozprawy jest analityczno-symulacyjno-eksperymentalny, ze szczególnym naciskiem położonym na badania eksperymentalne. Symulacja komputerowa oraz weryfikacja otrzymanych wyników w układach rzeczywistych wymagały oryginalnych działań doktoranta np. pomysł badania falowników z dodatkowo zadawaną generacją prądów biernych wymagał realizacji wirtualnego układu trójfazowego.

Podsumowując, stwierdzam ważność podjętej tematyki badawczej i ich bardzo wysoką rangę w obszarze poznawczym jak i w nowych zastosowaniach układów energoelektronicznych.

4. Oceny strony redakcyjnej pracy

Strona redakcyjna i edytorska recenzowanej rozprawy jest najsłabszym elementem rozprawy. Moim zdaniem doktorant nie potrafił precyzyjnie opisać uzyskanych wyników badań. Szczególnie uciążliwymi dla recenzenta były braki lub opisy rysunków i tak:

- brak spisu oznaczeń przyjętych do stosowania.

Szczególnie niefortunne jest stosowanie litery „s”. Powszechnie stosuje się zgodnie z normą system w którym symbol rzeczywisty jest bez podkreślenia np. „s” natomiast symbol zespolony podkreśla się np. \underline{s} . W elektrotechnice stosuje się zapis wektora zespolonego $\underline{s} = a + jb$. Podobnie rozróżniamy termin rzeczywisty” Transmitancja G” od terminu „Transmitancja zespolona/operatorowa $G(\underline{s})$ ”.

- Opisy rysunków stosowane przez Doktoranta są niewłaściwe. Dla przykładu:

- Rys 1.2 ma opis „Charakterystyka amplitudowo – częstotliwościowa.....”. Moim zdaniem opis ten powinien być następujący: „Ilustracja przebiegu charakterystyki amplitudowo – częstotliwościowej ...”,
- Rys. 4.2, jest „Przebieg napięcia....”. Moim zdaniem jest to „Zdjęcie ekranu komputera ilustrujące przebieg czasowy napięcia....”,
- Rys. 5.8, jest „Zmiana zadanego obciążenia....”. Moim zdaniem jest to „Oscylogram ilustrujący przebieg chwilowy prądu po zmianie zadanego obciążenia...”,
- Rys. 7.1, jest „Regeneracyjny symulator sieci ITECH IT7900”. Moim zdaniem jest to „Zdjęcie płyty czołowej przyrządu ITECH....”

Podobnie czytelnik nie wie, co prezentują rysunki od nr 7.25. Czy są to oscylogramy z przyrządu pomiarowego czy też zdjęcia z ekranu komputera.

Wszystkie inne usterki przekazałem doktorantowi.

5. Ocena rozprawy doktorskiej

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Marka Nowaka wnosi istotny wkład do teorii i praktyki wybranych układów energoelektronicznych. Wyniki badań regulatora P+R zaimplementowanego do techniki cyfrowej i zastosowanego do sterowania sieciowych, jednofazowych oraz trójfazowych falowników napięcia, jak również udane zastosowanie tego typu regulatora w systemie DC/AC pracującym z częstotliwością 400(Hz), są niekwestionowanymi osiągnięciami doktoranta. Tym samym doktorant osiągnął wszystkie cele jakie postawił przed rozpoczęciem badań i dociekań naukowych.

Do osobistego, oryginalnego dorobku doktoranta mającego istotną wartość poznawczą zaliczam zrealizowane prace badawcze polegające na:

- syntezie regulatora P+R,
- badaniach symulacyjnych (z użyciem programu IsSpice) falowników jedno- oraz trójfazowych pracujących z regulatorami P+R,
- implementację regulatora do cyfrowej struktury FPGA,
- wykonanie stanowisk laboratoryjnych zawierających jedno- oraz trójfazowy falownik z regulatorami P+R oraz przeprowadzenie obszernych badań laboratoryjnych w rzeczywistych warunkach pracy sytemu DC/AC,
- oryginalne badania zastosowania regulatora P+R w warunkach pracy systemu pokładowego obiektu pracującego z częstotliwością 400 (Hz).

Mat

Wymienione w p. 4 uwagi nie rzutują na moją ocenę merytoryczną recenzowanej rozprawy doktorskiej.

Recenzowana rozprawa doktorska potwierdza w stopniu bardzo wysokim profesjonalną wiedzę i umiejętności techniczne doktoranta. Doktorant potwierdził umiejętność sformułowania zagadnienia naukowego oraz umiejętność samodzielnego rozwiązania tego zagadnienia współczesnymi metodami naukowymi. Dał liczne przykłady swojej zdolności prowadzenia badań naukowych.

6. Dotychczasowy dorobek naukowy mgr inż. Marka Nowaka.

Doktorant jest autorem lub współautorem 17 publikacji w recenzowanych czasopismach naukowych, recenzowanych materiałach pokonferencyjnych i rozdziału w monografii. Spośród tych publikacji, 11 jest indeksowanych w bazie Web of Science, a 13 w bazie Scopus. Cytowania opublikowanych materiałów wynoszą: 21 w bazie WoS, w bazie Scopus 36. Indeks Hirscha w bazie WoS wynosi: z autocytowaniami 3, bez autocytowań 2, a w bazie Scopus: 3. Całościowy Impact Factor publikacji wynosi 13,831 (za 4 publikacje).

Uwzględniając poziom naukowy rozprawy, przeprowadzenie pełnego cyklu badawczego (koncepcja układu i jego topologia, analiza działania i właściwości układu, komputerowe badania symulacyjne, symulacja w czasie rzeczywistym w FPGA, opracowanie układu sterowania, projekt techniczny i wykonanie stanowisk laboratoryjnych oraz przeprowadzenie pełnych badań), wiedzę i umiejętności techniczne doktoranta oraz Jego duży dorobek publikacyjny, **wnioskuję o wyróżnienie rozprawy.**

7. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że Pan mgr inż. Marek Nowak wypełnił aktualnie obowiązujące wymagania stawiane osobie ubiegającej się o stopień naukowy doktora i wnioskuję o dopuszczenie Jego rozprawy doktorskiej pt. pt. *Zastosowanie regulatora proporcjonalno-rezonansowego w energoelektronicznych przekształtnikach sieciowych* do dalszego postępowania zgodnie z obowiązującymi przepisami.

Jednocześnie wnoszę do Wysokiej Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne o wyróżnienie rozprawy.



Marek Hartman