

Zielona Góra, 28.03.2025

Dr hab. inż. Krzysztof Sozański, prof. UZ
Instytut Automatyki, Elektroniki i Elektrotechniki
Wydział Informatyki, Elektrotechniki i Automatyki
Uniwersytet Zielonogórski

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Marka Nowaka pt.

*Zastosowanie regulatora proporcjonalno-rezonansowego
w energoelektronicznych przekształtnikach sieciowych*

1. Podstawa formalna opracowania recenzji

Formalną podstawą opracowania recenzji jest pismo *Pana Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne prof. dr. hab. inż. Andrzeja Kolka* z dnia 22 stycznia 2025r. wraz z umową.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest *Pan profesor dr hab. inż. Stanisław Piróg*.

Promotorem pomocniczym rozprawy doktorskiej jest *Pan dr inż. Tomasz Binkowski*.

Rozprawa mieści się w dziedzinie *nauk inżynieryjno-technicznych*, w dyscyplinie: *Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne*.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Przedstawiona rozprawa doktorska została napisana w języku polskim. Dostarczona została w formie książkowej i sygnowana jest logiem Politechniki Rzeszowskiej w Rzeszowie. Rozprawa ma sto dwadzieścia jeden (121) stron, zawiera dziewięć (9) rozdziałów oraz spis literatury obejmujący siedemdziesiąt dziewięć (79) pozycji.

W pierwszym rozdziale Autor przedstawił stan obecnej wiedzy na temat wybranych zagadnień związanych analizą i projektowaniem regulatora proporcjonalno-rezonansowego P+R w energoelektronicznych przekształtnikach sieciowych. Na końcu rozdziału sformułowano cele pracy.

Rozdział drugi poświęcono syntezie regulatora proporcjonalno-rezonansowego w wersji analogowej. Rozdział ten jest bardzo krótki, ma on zaledwie trzy strony.

Kolejny bardzo krótki zawiera opis zasad łączenia źródła energii z jednofazową siecią zasilającą z zastosowaniem filtra indukcyjnego pierwszego rzędu.

Wyniki badań symulacyjnych z regulatorem proporcjonalno-rezonansowym w układzie jednofazowym i trójfazowym przedstawiono w rozdziale 4. W rozdziale nie ma istotnych informacji na temat symulowanego układu np. takich jak wartość indukcyjności dławików, częstotliwość przełączania tranzystorów mocy itp. Nie ma również żadnych informacji na temat

WPLYNEŁO

03. KWI. 2025

POLITECHNIKA RZESZOWSKA
im. Ignacego Łukasiewicza
WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI I INFORMATYKI
35-959 Rzeszów, ul. W. Pola 2 1/5
tel. 17 865 1764

Su

zastosowanego środowiska programistycznego użytego do badań symulacyjnych. Informacja na temat zastosowanego programu pojawia się dopiero w posumowaniu w rozdziale 9.

W rozdział piąty ma tytuł „Implementacja regulatora P+R w układzie FPGA – badania symulacyjne w czasie rzeczywistym”, muszę przyznać, że jest o trochę niejasny a Autor nie stara tego wyjaśnić. Moim zdaniem na początku rozdziału Autor powinien opisać metodykę badań. W początkowej części rozdziału przedstawiono cyfrową implementację regulatora proporcjonalno-rezonansowego. Jednak te rozważania nie kończą się pokazaniem cyfrowego regulatora przeznaczonego do implementacji za pomocą układu FPGA. Brak jest jakichkolwiek informacji na temat implementacji regulatora oraz układu symulującego przekształtnik wraz z filtrem. Czy Autor korzystał z gotowych funkcji czy sam je tworzył? W dalszej części rozdziału przedstawione zostały obszerne wyniki badań symulacyjnych układu jednofazowego i trójfazowego

W rozdziale szóstym zamieszczone jest porównanie dynamiki pracy regulatora P+R z regulatorem PI. Podobnie jak poprzednio metodyka badań jest słabo opisana,

W rozdziale siódmym Autor przedstawił wyniki badań eksperymentalnych. Zamiast schematu układu jest zamieszczony niepełny opis układu eksperymentalnego. Do budowy układu eksperymentalnego Autor zastosował moduł trójfazowego falownika typu STEVAL-IHM023V3, natomiast układ sterowania został oparty moduł typu ALTERA DE1 zawierający układ FPGA CYCLONE II. W dalszej części rozdziału przedstawione zostały obszerne wyniki badań eksperymentalnych układu jednofazowego i trójfazowego.

W rozdziale ósmym pokazano wyniki testów regulatora P+R dla sieci zasilającej o częstotliwości 400 Hz. Czytając ten rozdział nie wiem czy wyniki dotyczą badań symulacyjnych? Nie znalazłem w opisie jednoznacznej informacji.

Rozdział dziewiąty zawiera podsumowanie rozprawy.

Podsumowując Autor umieścił w swojej pracy bardzo dużo wyników badań symulacyjnych i eksperymentalnych opracowywanych układów. Jednak brak dobrego i precyzyjnego opisu badanych układów powoduje, że czytający nie jest pewien czego te badania dotyczą. Dodanie kilku stron opisów znacznie polepszyłoby jakość tej rozprawy.

W pracy zamieszczono wykaz literatury zawierający siedemdziesiąt pozycji, które moim zdaniem w miarę dobrze ilustrują wiedzę w zakresie rozpatrywanej w rozprawie tematyki. Autor odpowiednio stosuje odnośniki do dołączonego do pracy wykazu literatury.

Poziom edytorski przedstawionej rozprawy należy uznać za dobry.

3. Ocena dorobku publikacyjnego Doktoranta

Doktorant zgodnie z dostarczoną przez niego listą w dorobku naukowym posiada 42 publikacje. Należy zaznaczyć, że są to publikacje różnej rangi. Można uznać, że bezpośrednio z rozprawą doktorską są związane cztery publikacje o najwyższej randze. Jeden artykuł opublikowany jest w czasopiśmie *Energies* indeksowanym przez JCR. Dwa artykuły opublikowane w czasopiśmie *Przegląd Elektrotechniczny*. Jeden w materiałach konferencyjnych. Należy uznać dorobek publikacyjny za wystarczający do nadania do nadania stopnia doktora.

4. Ocena tematu i celu pracy

Rozprawa pt. *Zastosowanie regulatora proporcjonalno-rezonansowego w energoelektronicznych przekształtnikach sieciowych* odnosi się do bieżących potrzeb przemysłu i gospodarki kraju. Należy więc uznać tematykę pracy za słuszną i dostosowaną do bieżących trendów w układach energoelektronicznych i zgodną z dyscypliną automatyka, elektronika, elektrotechnika i techniki kosmiczne. Należy również zaznaczyć, że zagadnienia związane z regulatorami proporcjonalno-rezonansowymi stosowanymi w przekształtnikach sieciowych są obecnie bardzo popularne w literaturze. Przykładowo po wpisaniu hasła „*proportional-resonant controller*” można znaleźć ponad 250 publikacji w bazie danych IEEE Xplore. Można więc przyjąć, że ze względu na bardzo szerokie rozpowszechnienie się odnawialnych źródeł energii, temat sprzęgania takich źródeł z siecią zasilającą jest mocno wyeksploatowany. Nasuwa się więc pytanie co nowego Autor wniósł do tej tematyki?

Autor przyjął najprostsze rozwiązanie sprzężenia pomiędzy przekształtnikiem a siecią zasilającą za pomocą filtra pierwszego rzędu. Tłumienie składowych modulacji za pomocą takiego filtra jest często niewystarczające, dlatego w typowych rozwiązaniach stosuje się filtry LCL. W literaturze można obecnie znaleźć ogromną liczbę publikacji na ten temat.

5. Zalety pracy

Autor podjął trud analizy, projektowania, i realizacji regulatora proporcjonalno-rezonansowego w energoelektronicznych przekształtnikach sieciowych. Do realizacji zadania konieczne jest posiadanie wiedzy i umiejętności w zakresie: elektrotechniki, elektroniki, energoelektroniki, cyfrowego przetwarzania sygnałów, automatyki i programowania. Autor wykazał się zdolnościami do analizy i syntezy metod i układów sterowania układami energoelektronicznymi.

Podstawowe zalety pracy:

- implementacja regulatora P+R za pomocą układu FPGA,
- badania symulacyjne układu jedno i trójfazowego DC/AC w programie IsSpice,
- badania symulacyjne z wykorzystaniem układu FPGA do implementacji regulatora i obiektu regulacji,
- budowa modelu eksperymentalnego za pomocą gotowych modułów,
- badania eksperymentalne opracowanego układu.

Do głównych zalet pracy Autora należy zaliczyć to, że zaproponowane układy zostały zweryfikowane i potwierdzone przez badania eksperymentalne.

6. Uwagi krytyczne i pytania do Doktoranta

1. Dlaczego Autor zastosował do sprzęgania falownika z siecią zasilającą filtr pierwszego rzędu zamiast bardziej wydajnego filtra LCL trzeciego rzędu?
2. W pracy brak jest precyzyjnych opisów badanych układów, utrudnia to analizę uzyskanych wyników badań symulacyjnych i eksperymentalnych. Ciekawe, że w publikacjach autora są one znacznie lepiej opisane.

3. W rozdziale 4 brak jest schematów symulacyjnych, podobna sytuacja jest w rozdziale 5.
4. W pracy brak jest informacji czy Autor zrealizował implementację regulatora za pomocą interfejsu graficznego czy przy pomocy programu napisanego np. w języku VHDL. Podobna sytuacja jest w przypadku symulacji falownika za pomocą układu FPGA.
5. Czy wyniki badań przedstawione w rozdziale 8 dotyczą badań symulacyjnych czy eksperymentalnych?
6. Jaka jest rozdzielczość modulatora PWM?
7. W pracy brak jest informacji na temat dokładności obliczeń przez układ FPGA, czy zastosowano arytmetykę stała czy zmiennoprzecinkową?
8. Jak Autor tłumaczy stosunkowo dużą wartość współczynnika THD_i prądu linii zasilającej pokazanego na rys. 7.14?
9. Należy wyjaśnić pojęcie symulacja w czasie rzeczywistym. Jakie są zależności czasowe pomiędzy regulatorem a obiektem symulowanym za pomocą FPGA. W pracy brak jest schematu całego układu symulacji.
10. W pracy brak jest dyskusji na temat doboru parametrów regulatora i brak jest również analizy stabilności układu, co w przypadku pracy, która ma w tytule regulator jest co najmniej dziwne.
11. Nie ma również wykazu skrótów i oznaczeń co spowodowało, że Autor sam wpadł w pułapkę stosowania różnych nazw tych samych parametrów badanych układów. Przykładowo w Tabeli 5.2 zastosowano nazwę „Częstotliwość impulsowania” a w Tabeli 5.3 „Częstotliwość sygnału nośnego”. Stosowana jest również nazwa „Częstotliwość pracy” podejrzewam, że jest to częstotliwość próbkowania?
12. Na przebiegach prądów fazowych (np. rys. 7.56) widać duże zniekształcenia skrośne, co zdaniem Autora je wywołuje?

7. Wybrane uwagi szczegółowe

Autor dość dowolnie podchodził do stosowania strzałek pokazujących kierunek przepływu sygnałów na schematach blokowych, raz je stosuje tak jak na rys. 4.9 a przykładowo na rysunkach 4.1 i 5.11 strzałek brakuje. Ciekawe, że przeglądając publikacje Autora znajduje się bardziej kompletne schematy. Moim zdaniem obniża to trochę wartość rozprawy.

8. Podsumowanie

Pomimo wymienionych uwag krytycznych, wartość dodana pracy znacznie je przewyższa. Recenzowana praca zawiera oryginalne rozwiązania autorskie. Zaprezentowane rozwiązania mogą być przydatne dla projektantów układów energoelektronicznych, na przykład energetycznych filtrów aktywnych.

Na podstawie analizy przedstawionej pracy mogę jednak stwierdzić, że Pan mgr inż. Marek Nowak wykazał się odpowiednią wiedzą w zakresie: projektowania zaawansowanych układów elektronicznych, umiejętnościami w zakresie: implementacji algorytmów sterowania, oraz zdolnością do twórczej analizy otrzymanych wyników.

W świetle obowiązujących obecnie przepisów o stopniach naukowych, zgodnie z warunkami określonymi w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*, należy uznać, że przedłożona rozprawa spełnia stawiane w nich kryteria dla dyscypliny *Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne*. Niniejszym wnioskuję więc o przeprowadzenie publicznej obrony rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Marka Nowaka na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej w Rzeszowie.

Krzysztof Sozański

Krzysztof Sozański

