

Dr hab. inż. Dariusz Zieliński, prof. uczelni
Zakład Przetwarzania i Magazynowania Energii Elektrycznej
Katedra Napędów i Maszyn Elektrycznych
Wydział Elektrotechniki i Informatyki
Politechnika Lubelska
ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin
tel. 81 5384597; e-mail: d.zielinski@pollub.pl

Lublin, 22.11.2024 r.

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr. inż. Grzegorz Wrona
pt. „Control of an AC-DC Converter with Increased
Resiliency to Voltage Disturbances
in the Power System"**

**(STEROWANIE PRZEKSZTAŁTNIKA AC-DC O ZWIĘKSZONEJ ODPORNOŚCI
NA ZAKŁÓCENIA NAPIĘCIA W SIECI ELEKTROENERGETYCZNEJ)**

Podstawą opracowania recenzji jest uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka,
Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej
z dnia 15 października 2024 r.

1. Ocena problematyki rozprawy

Układy przekształtnikowe AC/DC mają wielorakie zastosowanie, a w szczególności stosowane są w układach integrujących trójfazową sieć niskiego napięcia z magazynami energii oraz odnawialnymi źródłami energii. Mimo szerokiej oferty tych przekształtników nadal poszukuje się koncepcji, które pozwolą utrzymać pracę w stanie zaburzeniowym sieci dystrybucyjnej i będą rozwiązaniami bardziej niezawodnymi czy charakteryzować się będą wyższą efektywnością pracy. Takie postulaty były inspiracją ocenianej pracy doktorskiej. Doktorant zaproponował szereg ulepszeń algorytmów, znanych w literaturze pod akronimami VOC i DPC. Zaproponowana przez niego modyfikacja polega na modułowym systemie sterowania składającym się z: układów kompensacji wyższych harmonicznych, rozwiązania ograniczającego tętnienia mocy czynnej, synchronizacji z układem generacji składowej ortogonalnej, układ wyznaczania składowej zgodnej na bazie filtru grzebieniowego.

Wprowadzona zmiana pozwoliła na rozszerzenie funkcjonalności przekształtnika o możliwość pracy w stanie zaburzenia sieci, z ograniczonym wpływem na jego stabilność. Doktorant zastrzegł te rozwiązania we współautorskim patencie jako modułowa metoda sterowania pat. nr. PL410949-A1.

Poszukiwania nowych czy modyfikowanych metod sterowania przekształtnikami moc, umożliwiających uzyskanie zwiększonych możliwości regulacyjnych są dobrym



kierunkiem rozwoju. Z tego względu podjęcie prac badawczych przez Doktoranta nad badaniem, modelowaniem i przeprowadzeniem eksperymentów laboratoryjnych w temacie określonym przez tytuł rozprawy uważam za właściwą decyzję.

2. Ocena tezy badawczej, zadań naukowych, struktury rozprawy oraz zastosowanego piśmiennictwa

Układ ocenianej pracy doktorskiej odpowiada strukturze rozpraw naukowych. Po przedstawieniu motywacji, z akcentami zasadności zainteresowania się podjętym tematem, Doktorant przedstawił krótki przegląd wybranych topologii starowania VOC i DPC. W końcowej części tego przeglądu uwagę skierował na podatność układu sterowania na zaburzenia pochodzące od sieci dystrybucyjnej oraz propagację tych zaburzeń z rozkładem na poszczególne pętle sterowania.

Problem badawczy w postaci tezy naukowej Doktorant sformułował w rozdziale 1.3, która brzmi: *"The implementation of appropriate control techniques allows the adaptation of generic GCC algorithms to operate under various grid voltage disturbances, improving the resilience of the GCC, ensuring sinusoidal current with a low THD factor on the AC side of the converter and high-quality voltage with the second harmonic limitation function on the DC side"*. Udowodnienie tej tezy Doktorant zaplanował w pięciu zadaniach naukowych. Składają się na nie prace związane z tworzeniem modelu matematycznego, jego analizą i wnioskowaniem. Dotyczą one głównie obszaru topologii jak i sposobu kształtowania prądów fazowych pozwalających na utrzymanie napięcia szyny DC przekształtnika. Dla wybranego układu sterowania Doktorant zaplanował również struktury uodporniające układ na zaburzenia pochodzące od sieci dystrybucyjnej. Doktorant przeprowadził dyskusję formułując wnioski i określając dodatkowe funkcjonalności. Poza wskazanymi zadaniami modelowymi i oceną wyników obliczeniowych Doktorant, przeprowadził badania i porównał uzyskane wyniki. Dalej dokonał analizy uzyskanych wyników i sformułował końcowe wnioski. Wyszczególnione zadania odzwierciedlone są w strukturze pracy.

Wykaz literatury obejmuje 116 pozycji bibliograficznych. Niemal wszystkie te pozycje napisane są w j. angielskim. Źródłem większości z nich są przede wszystkim artykuły z renomowanych czasopism IEEE, uznanych wydawnictwach książkowych oraz patenty i międzynarodowe normy. Pozycje te obejmują aktualną wiedzę naukowo-techniczną ściśle powiązaną z zakresem rozprawy. Dwanaście z wymienionych pozycji to opracowania współautorskie Doktoranta. Niestety niektóre z nich np. 1, 16, 41, 62, 7 (artykuł Doktoranta) nie są poprawnie opisane, gdyż w opisie bibliograficznym brak jest danych, gdzie zostały opublikowane.

3. Ocena adekwatności zastosowanych metod badawczych

Zastosowane metody badawcze są zgodne z wymaganiami. Składają się na nie:

- a) Studia literaturowe wraz z interpretacją i analizą oraz formułowanie wniosków, które wyznaczają decyzje o zakresie i przedmiocie badań, kształcie tezy naukowej oraz planowanych zadaniach badawczych;
- b) Badania modelowe i symulacyjne;
- c) Planowanie badań eksperymentalnych i ich przeprowadzenie;
- d) Analiza, interpretacja i dyskusja uzyskanych rezultatów oraz formułowanie wniosków w zakresie spełnienia oraz osiągnięcia celów naukowych.

Zastosowanie tych metod w wystarczającym stopniu zapewnia realizację postawionych zadań badawczych, co uzasadniają wymienione niżej rezultaty.

Studia literaturowe ukierunkowane są ściśle na prezentację trójfazowych układów przekształtnikowych AC/DC pracujących dwukierunkowo z siecią dystrybucyjną oraz klasyfikacja ich metod sterowania. Mają one charakter zwarty, a w ich wyniku przedstawione są podstawowe układy sterownia. Niestety brak jest podsumowania, a przede wszystkim konkluzji, jaką metodę sterowania Autor zamierza wykorzystywać w dalszej części pracy.

Badania modelowe zrealizowane były w rozdziałach od trzeciego do siódmego bez wyraźnego podziału, które z nich są symulacją a które są wynikiem eksperymentów rzeczywistych wykonanych na stanowisku laboratoryjnym. Nie znajdując odpowiedniej informacji w rozprawie, po dokonaniu pogłębionej analizy stwierdzam, że znaczna większość przedstawionych wyników badań to wyniki badań modelowych i symulacyjnych. Badania te polegały na formułowaniu opisów matematycznych, na podstawie schematu elektrycznego, z uwzględnieniem architektury i proponowanej metody sterowania. Analiza graficzna zrealizowana została z wykorzystaniem wielu stylów co w konsekwencji utrudnia odbiór czytelnikowi.

Sformułowane przez Doktoranta równania różniczkowe umożliwiły bezpośrednią realizację badań symulacyjnych. Efekty tych badań są podane po raz pierwszy w podrozdziale 3.1, jednak Doktorant nie wyjaśnił jakie narzędzie symulacyjne zastosował do sporządzenia tych przebiegów. Użyte oprogramowanie jest określone dopiero w załączniku do niniejszej pracy.

Analizując całokształt pracy stwierdzam, że Autor dowiódł umiejętności posługiwania się metodą badań symulacyjnych jak i planowaniem tych badań. Niestety zabrakło oczekiwanych informacji o stworzonym oprogramowaniu, przyjętych uproszczeniach i ograniczeniach. Nie jest oczywiste, w jakim stopniu model symulacyjny stworzony został samodzielnie przez Doktoranta.

Wyniki badań rzeczywistych Doktorant przedstawił tylko w dwóch rozdziałach 3.7 i 5.3 jako: „Selected experimental results”. Sposób przedstawienia tych wyników jest dobry, natomiast brak podstawowych informacji na temat stanowiska badawczego i warunkach eksperymentu, uniemożliwiają ich pełną walidację. Słabą stroną jest również

brak uzasadnienia przyjętych wartości obciążeń, skąd one wynikają i dlaczego akurat te wartości są podstawą do późniejszej oceny.

Wykonanie przewidzianych w doktoracie badań Doktorant potwierdził przedstawiając wyniki i formułując oceny i wnioski. Ostateczne konkluzje zrehabilitował w rozdziale ósmym. W rozdziale tym Doktorant powołuje się na publikacje i wyjaśnia, że tam można odnaleźć informacje na temat szczegółowej implementacji algorytmów na platformę DSP i warunkach przeprowadzenia badań.

Zdaniem recenzenta, zawartość i forma przedstawionej pracy wskazują, że powinna być ona złożona w formie spójnego tematycznie zbioru publikacji naukowych a nie zwartej rozprawy doktorskiej.

4. Ocena oryginalności osiągnięcia naukowego i jego przydatności dla nauk inżynierijno-technicznych

Do oryginalnych osiągnięć Doktoranta zaliczam opracowanie zbioru metod umożliwiających pracę przekształtnika AC/DC w stanie zaburzenia sieci dystrybucyjnej. Doktorant zaproponował modyfikacje istniejących rozwiązań poprzez zastosowanie dodatkowych filtrów. Sterowanie zostało opatentowane wraz z współautorami jako modułowa metoda sterowania pat. nr. PL410949-A1.

Doktorant rozwiązał ponadto szereg szczegółowych zadań. Wśród nich do autorskich rozwiązań zaliczyć można metody:

- ograniczenia tętnień mocy czynnej, a tym samym tętnień napięcia DC poprzez dopuszczenie do niesymetrii prądów fazowych,
- synchronizacji z wykorzystaniem zaproponowanej metody generacji składowej ortogonalnej,
- generacji sygnału ortogonalnego bazującego na strukturze filtru grzebieniowego połączonego z członem całkującym sygnał okresowy o zadanej częstotliwości.

Powyższe metody zwiększają odporność przekształtnika AC/DC współpracującego z siecią dystrybucyjną na zaburzenia. Jest to zadanie niezwykle aktualne i znajduje szerokie zastosowanie w naukach inżynierijno-technicznych.

5. Ocena sposobu przedstawienia uzyskanych wyników, uwagi problemowe oraz zauważone wątpliwości recenzenta

Praca zawiera znaczną ilość błędów redakcyjnych. Większość rysunków, wyników badań zawiera pomyłki edytorskie i inne braki. Przykładowo, Doktorant nie ujednolicił oznaczeń i stosuje je w sposób naprzemienny, a niekiedy nawet błędny. Często wzory przedstawione w pracy nie korespondują z prezentowanymi algorytmami. Modele i wyniki badań symulacyjnych prezentowane są w mało przejrzysty sposób, a recenzent musi się domyślać np. co do poziomów wartości sygnałów i poprawności uzyskanych wyników badań. Bardzo trudno jest również znaleźć wspólny mianownik dla badań obliczeniowych i laboratoryjnych. Brak jednoznacznego stwierdzenia w jakich warunkach prowadzono symulacje, a w jakich badania rzeczywiste oraz czy zachodzi między tymi badaniami

jakakolwiek korelacja. Brak jasnego opisu rzeczywistego stanowiska oraz parametrów badanego układu budzi znaczne zaniepokojenie. W pracy brakuje punktu odniesienia, którym mogłaby być parametryzacja badanych układów, wspólna skala lub jednolita metoda prowadzonych badań. Niepokoi brak dbałości Autora o szatę graficzną, wprowadzanie czcionek o nieodpowiedniej wielkości czy nieczytelne oscylogramy. Recenzent odnosi nieodparte wrażenie, że rysunki w pracy oraz niektóre wyniki badań były realizowane w bardzo dużych odstępach czasu oraz pochodzą z artykułów Doktoranta, których był współautorem bez właściwego ich cytowania i ujednolicenia zapisu. Przykładem mogą być rysunki 2.3 i 2.10, rysunki te powinny przedstawiać algorytm DPC, natomiast sposób przedstawiania, oznaczania jest odmienny. Recenzent nie jest w stanie domyśleć się, który filtr w obwodzie szyny DC jest zastosowany, czy jest LPF czy BPF. Różne oznaczenia wejść i wyjść bloków, różna liczba sprzężeń zwrotnych i zgubione znaki plusów i minusów przy sumatorach nie pomagają w analizie dorobku Doktoranta. Ponadto w pracy jest stosowanych wiele oznaczeń bez wyjaśnienia co one reprezentują.

Wybrane uwagi szczegółowe:

1. Rys. 2.2 – błędnie narysowany układ odsprzęgania sterowania VOC. Braki w oznaczeniach, braki symboli przy sumatorach, mieszane style graficzne.
2. Rys. 2.4 – oznaczenia na schematach nie korespondują z wzorami przedstawionymi w rozdziale 2.2.1
3. Rys. 2.5 – oznaczenia na schematach nie korespondują z wzorami przedstawionymi w rozdziale 2.2.2. Opis algorytmu i użyte symbole również nie są zgodne z rysunkiem 2.5
4. Wzór 2.12 – brak opisu wprowadzonych oznaczeń R_p i R_g
5. Rys. 2.10 -DPC – estymator duże P i Q (większość sygnałów chwilowych oznaczane są w niniejszej pracy dużymi literami)
6. Rozdział 3.1 oraz wzór 3.1 nie koresponduje z opisem. X_1 i X_2 w opisie X^+ i X^- we wzorze.
7. Wzory 3.1 -3.5 zmiana nomenklatury z U na V.
8. Rys. 3.12 nadmiarowe oznaczenia $x-x_3$, brak odniesień w tekście
9. Rys. 3.19 braki w oznaczeniach na rysunku, nieoznaczone sumatory
10. Rys. 3.23 braki w oznaczeniach na rysunku, nieoznaczone sumatory, błędnie oznaczony układ odsprzęgania, nie korespondujący z schematem przekształtnika po prawej stronie
11. Rys 4.7 wartości U_1 - U_3 i W_1 - W_3 – nie korespondują z wzorami w rozdziale ani z opisem.

Uwagi krytyczne mają charakter pytań, w których Doktorant proszony jest o wyjaśnienie sposobu prowadzenia badań jak i przedstawienia wyników.

- a) Proszę określić wkład merytoryczny doktoranta w kluczowych publikacjach i patencie. Doktorant powołuje się wielokrotnie nie jego publikacje, natomiast są to prace wielu autorów.

- b) W podsumowaniu nie ma odniesienia do istotnych wyników w pracy oraz brak jest udowodnienia tezy. Proszę o jednoznaczne stwierdzenie czy teza pracy jest udowodniona i oraz podanie uzasadnienia dla takiej konkluzji.
- c) Dlaczego w pracy nie przedstawiono stanowiska rzeczywistego? Proszę określić, które wyniki pracy są symulacją a które badaniem rzeczywistym oraz w jakich warunkach były realizowane badania i z wykorzystaniem jakich narzędzi.
- d) Proszę określić warunki prowadzonej symulacji. Czy wyniki rzeczywiste pokrywają się z modelem załączonym w appendix B?
- e) Jaki wpływ na wyniki badań ma zastosowanie w VOC filtru LFP a w DPC filtru BPF 100Hz? Czy doktorant może ponowić wybrane badania symulacyjne z zastosowaniem jednego układu filtrowania?
- f) Dlaczego Doktorant zdecydował się na analizę rozkładu harmonicznego do 900Hz?
- g) Rys. 5.2 czy Doktorant rozumie co to jest EPLL? Dlaczego na schematach stosuje EPLL a w rozdziale 3.6 „DC-link voltage algorithm” zmienia metodę synchronizacji?
- h) Prezentowane wyniki liczbowe przedstawione są w wielkościach bezwzględnych, co utrudnia bezpośrednią ich analizę. Trudno ocenić jakie znaczenie mają np. zmiany napięcia, bez wcześniejszego obliczenia wartości względnych tych zmian. Rozszerzenie przez Doktoranta części prezentowanych wyników o wykresy ich względnych wartości zarówno na przebiegach graficznych jak i w tabelach zbiorczych, umożliwiłoby sformułowanie ogólniejszej oceny.
- i) Odczuwany jest również pewien niedosyt własnych interpretacji wyników, np. zauważone podczas badań różnice dla różnych metod sterowania powinny być szerzej skomentowane oraz powinna być podana sugestia dla jakiego rodzaju aplikacji dana metoda jest rekomendowana przez Autora.

Wśród uwag o charakterze porządkowym pragnę wymienić:

- j) Brak jakichkolwiek informacji o stworzonym oprogramowaniu, przyjętych uproszczeniach i ograniczeniach. Nie wiadomo więc, czy model symulacyjny stworzony został samodzielnie przez Doktoranta czy w zespole.
- k) Brak jest informacji o zastosowanym sprzęcie pomiarowym i jego parametrach.

Doktoranta proszę o ustosunkowanie się do przedstawionych uwag a)-j) w formie pisemnej i przesłanie odpowiedzi z wykorzystaniem poczty elektronicznej na adres e-mail recenzenta pobrany ze strony <https://ehms.pollub.pl/standard/staff.php>.

Wszystkie wymienione wątpliwości wyrażają zainteresowania recenzenta rozprawą, mając jednocześnie na celu zwrócenie uwagi Doktorantowi na merytoryczne i redakcyjne niedociągnięcia. Zastrzeżenia o charakterze merytorycznym powinny być wyjaśnione przez Doktoranta.



6. Ocena, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydata do stopnia doktora w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Pomimo szeregu szczegółowych pytań uznać można, że rozprawa doktorska mgra inż. Grzegorza Wrony stanowi oryginalne rozwiązanie problemu badawczego. Doktorant wykazał się ogólną wiedzą teoretyczną w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne oraz szczegółową wiedzą w zakresie przekształtników napięcia AC/DC pracujących w stanie zaburzenia napięcia sieci. Realizując pracę naukową dowiódł posiadania umiejętności stosowania różnych metod badawczych, co świadczy o nabyciu wystarczających umiejętności do samodzielnego prowadzenia prac naukowych.

Uwzględniając wymienione argumenty wnioskuję, aby rozprawę doktorską mgra inż. Grzegorza Wrony uznać za istotny wkład Autora w rozwój dyscypliny naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne.

Stwierdzam więc, że opiniowana praca spełnia warunki i wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Stawiam zatem wniosek o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgra inż. Grzegorza Wrony do publicznej obrony przed Radą Naukową Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej.

KIEROWNIK
Zakładu Przetwarzania i Magazynowania
Energii Elektrycznej

Dr hab. inż. Dariusz Zieliński