

Prof. dr hab. inż. Wojciech Jarzyna  
Katedra Napędów i Maszyn Elektrycznych  
Wydział Elektrotechniki i Informatyki  
Politechnika Lubelska  
ul. Nadbystrzycka 38A, 20-618 Lublin  
tel. 81 5384339; e-mail: [w.jarzyna@pollub.pl](mailto:w.jarzyna@pollub.pl)

Lublin, 28.10.2024 r.

## RECENZJA

**rozprawy doktorskiej mgr. inż. Tomasza Bałkowca  
pt. „Jednokierunkowy obniżająco-podwyższający przekształtnik napięcia AC/DC  
o zmodyfikowanej topologii łącznika dwukierunkowego zasilany z trójfazowego  
czteroprzewodowego źródła napięcia”**

Podstawą opracowania recenzji jest uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka,  
Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej  
z dnia 17 września 2024 r.

### 1. Ocena problematyki rozprawy

Układy przekształtnikowe, w tym prostowniki 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 uzyskać nowe własności regulacyjne, okażą się rozwiązaniami bardziej niezawodnymi czy charakteryzować się będą wyższą efektywnością pracy. Takie postulaty były zapewne inspiracją ocenianej pracy doktorskiej. Doktorant wraz ze swoim mentorem śp. Prof. Włodzimierzem Koczara opracowali i opatentowali nową topologię rozszerzającą trójfazową strukturę prostownika Vienna. Zaproponowana przez nich modyfikacja polega na zastąpieniu dwóch diod tyrystorami, tworząc w ten sposób dla każdej fazy mostek 2D-2TH-1T z tranzystorem modulującym włączonym pomiędzy bieguny mostka. Wprowadzona zmiana pozwoliła na rozszerzenie funkcjonalności prostownika o możliwość obniżania napięcia, przy zachowaniu możliwości jego podwyższania. Dodatkową uzyskaną funkcjonalnością jest zastosowanie stworzonego rozwiązania do rozłączania prądów zwarciovych po stronie stałoprądowej.

Poszukiwania nowych czy modyfikowanych rozwiązań układów przekształtnikowych 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 bardzo dobrą 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 jednokierunkowych prostowników trójfazowych AC/DC podwyższających napięcie. W końcowej części tego przeglądu uwagę skierował na układy trójpoziomowe z kondensatorami balansującymi zapewniającymi lepsze parametry od układów dwupoziomowych.

Problem badawczy w postaci tezy naukowej Doktorant sformułował w rozdziale 1.3, która brzmi: *Możliwa jest regulacja napięcia wyjściowego w trybie obniżania i podwyższania napięcia, przy zastosowaniu zmodyfikowanej topologii łącznika dwukierunkowego w jednokierunkowym przekształtniku napięcia AC/DC zasilanego z trójfazowego, czteroprzewodowego źródła napięcia.* Udowodnienie tej tezy Doktorant zaplanował w sześciu zadaniach naukowych. Składają się na nie prace związane z tworzeniem modelu matematycznego, jego analizą i wnioskowaniem. Dotyczą one zarówno obszaru topologii jak i sposobu kształtowania prądów fazowych pozwalających na symetryzację napięć na kondensatorach wyjściowych DC. Dla zaproponowanej topologii Doktorant zaplanował również struktury sterowania dla trybu pracy obniżającej i podwyższającej napięcie. Umiejętnie przeprowadził dyskusję formułując wnioski i określając dodatkowe funkcjonalności. W dalszej części rozprawy opisał te funkcjonalności dotyczące wykorzystanie tyrystorowych łączników układu do przeprowadzenia bezpiecznego awaryjnego wyłączenia obwodu po stronie prądu stałego poprzez zablokowanie sygnałów sterujących tyrystorami mostków. Poza wskazanymi zadaniami modelowymi i oceną wyników obliczeniowych Doktorant zrealizował, tak pożądaną w pracach inżynierskich projekt stanowiska laboratoryjnego, przeprowadził badania i porównał uzyskane wyniki z obliczeniowymi. Dalej dokonał analizy uzyskanych wyników i sformułował końcowe wnioski. Wyszczególnione zadania odzwierciedlone są w strukturze pracy.

Wykaz literatury obejmuje 110 pozycji bibliograficznych. Niemal wszystkie te pozycje napisane są w j. angielskim. Źródłem większości z nich są przede wszystkim na 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. Pięć z wyszczególnionych pozycji to opracowania współautorskie Doktoranta. Niestety dwie z ich o numerach 38 i 107 nie są poprawnie opisane, gdyż w opisie bibliograficznym brak jest danych gdzie zostały opublikowane.

## **3. Ocena adekwatności zastosowanych metod badawczych**

Zastosowane metody badawcze są odpowiednie do wymagań. 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) Badania projektowe i uruchomieniowe układu eksperymentalnego;
- d) Planowanie badań eksperymentalnych i ich przeprowadzenie;
- e) Analiza, interpretacja i dyskusja uzyskanych rezultatów oraz formułowanie wniosków w zakresie spełnienia oraz osiągnięcia celów naukowych.

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

Studia literaturowe ukierunkowane są ściśle na prezentację trójfazowych układów przekształtnikowych AC/DC pracujących w trybie pracy prostownikowej. Mają one charakter zwarty, a w ich wyniku przedstawione są podstawowe topologie analizowanych układów, kończące się trójpoziomową strukturą o układzie połączeń typu delta. Niestety brak jest podsumowania, a przede wszystkim konkluzji co wynika z przytoczonych przykładów literaturowych oraz jak Autor zamierza je wykorzystać w dalszej części rozprawy.

Badania modelowe zrealizowane zostały w rozdziałach drugim i trzecim. Polegały one na formułowaniu opisu matematycznego na podstawie schematu elektrycznego i uwzględnieniu zmian tej struktury wskutek działania elementów półprzewodnikowych. Analiza graficzna zrealizowana została czytelnie, a sformułowane równania różniczkowe umożliwiły bezpośrednią realizację badań symulacyjnych. Efekty tych badań symulacyjnych są podane po raz pierwszy w podrozdziale 2.4, jednak Doktorant nie wyjaśnił jakie narzędzie symulacyjne zastosował do sporządzenia tych przebiegów. Użyte oprogramowanie jest określone dopiero w kolejnym rozdziale 3. W tym też rozdziale stosowanie badań symulacyjnych jest poprzedzone wyznaczeniem parametrów układu, opisem sposobu i przedstawieniem zakresu przeprowadzonego eksperymentu obliczeniowego. W ten sposób Autor dowiódł umiętności posługiwania się metodą badań symulacyjnych jak i planowaniem tych badań. Niestety zabrakło oczekiwanych informacji o stworzonym oprogramowaniu, przyjętych uproszczeniach i ograniczeniach. Nie wiadomo więc, czy model symulacyjny stworzony został samodzielnie przez Doktoranta.

Dla badań eksperymentalnych na stanowisku laboratoryjnym podstawą jest schemat obwodu silnoprądowego przedstawiony na rys. 4.1. Wraz z opisami z rozdziału 4.2 dotyczącymi opisu kolejności badań oraz parametrów i przyjętych metod sterowania, stworzył on przejrzysty opis prowadzonego eksperymentu. Mankamentem jest brak informacji o zastosowanym sprzęcie pomiarowym i jego parametrach. Wszystkie wyniki podane są w jednostkach bezwzględnych co utrudnia ich ocenę. 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 szczegółowe wyniki i formułując oceny i wnioski. Ostateczne konkluzje zredagował w rozdziale piątym, co definitywnie zaświadcza o umiejętności stosowania przez mgra T. Bałkowca przewidzianych w rozprawie metod badawczych tj. umiejętności prowadzenie badań projektowych i uruchomieniowych eksperymentu laboratoryjnego wraz z jego planowaniem i przeprowadzeniem. Dowodzi to również umiejętności analizy wyników, ich interpretacji i dyskusji oraz formułowania wniosków w zakresie spełnienia oraz osiągnięcia celów naukowych. W związku z powyższym potwierdzam, że Doktorant zna i umie stosować metody badawcze specyficzne dla nauk inżynierjno-technicznych.

#### **4. Ocena oryginalności osiągnięcia naukowego i jego przydatności dla nauk inżynierjno-technicznych**

Do oryginalnych osiągnięć Doktoranta zaliczam opracowanie i uruchomienie prostownika Vienna o zmodyfikowanej strukturze rozszerzającej własności prostownika realizującej funkcje obniżania napięcia. Modyfikacje te opracował On wspólnie ze swoim mentorem i opiekunem naukowym śp. Profesorem Włodzimierzem Koczara. Topologia wprowadzonego układu została opatentowana jako jednokierunkowy przekształtnik AC/DC o zmodyfikowanej strukturze dwukierunkowego łącznika zasilanego z trójfazowego źródła z dostępnym przewodem zerowym.

Uruchamiając ten układ Doktorant rozwiązał ponadto szereg szczegółowych zadań. Wśród nich do autorskich rozwiązań zaliczyć można wielowariantowy układ regulacji wektora prądów fazowych w wirującym układzie współrzędnych dqz. Rozwiązanie to charakteryzuje się dobrą dynamiką regulacji prądu, a jest ono zrealizowane w dwóch strategiach sterowania kształtowaniem prądów fazowych, tj. strategii (1) zawierającej harmoniczną podstawową oraz składową stałą oraz strategii (2) o asymetrycznych dodatnich i ujemnych półfalach. Obydwie strategie osiągają dobre wyniki, chociaż przy pracy niesymetrycznej lepsze rezultaty osiąga strategia (2) dzięki uzyskaniu niższych wartości współczynnika odkształcenia prądu  $THD_i$ , wyższych wartości współczynnika mocy odkształconej  $\lambda$  oraz niższej zawartości składowej stałej prądu.

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

Praca jest dobrze zredagowana, praktycznie poza pojedynczymi tzw. literówkami brak jest istotnych błędów składniowych. Modele i wyniki prezentowane są w czytelny sposób. Widoczna jest duża dbałość Autora o szatę graficzną, wprowadzanie odpowiedniej wielkości czcionek, a dla odróżnienia analizowanych wielkości, różnych kolorów na wykresach i przebiegach.

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

a) Prezentowane wyniki liczbowe przedstawione są w wielkościach bezwzględnych, co utrudnia bezpośrednią ich analizę. Trudno bowiem 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 to sporządzenie ogólniejszej oceny.
- b) Podczas badań układu określono stałe wartości rezystancji obciążenia R1 i R2. Na jakiej podstawie dobrane są te dwie wielkości? Czy były robione badania przy różnych wartościach rezystancji.
  - c) Kąty przewodzenia tyrystorów (str.29). Czy zawsze kąty te są identyczne, czy istnieją warunki pracy, dla których pożądana jest ich różna wartość?
  - d) Czy analizowana była sprawność układu?
  - e) Odczuwany jest się również pewien niedosyt własnych interpretacji wyników, np. zauważone podczas badań różnice dla różnych strategii sterowania powinny być szerzej skomentowane oraz powinna być podana sugestia dla jakiego rodzaju aplikacji dana strategia jest rekomendowana przez Autora.
  - f) Zwykle w końcowej części rozpraw doktorskich ich autorzy podają w jakim kierunku zamierzają prowadzić dalsze badania, a w szczególności jak zamierzają dalej rozwijać problem badawczy doktoratu. W rozprawie doktorskiej brak takich rozważań.

Wśród uwag o charakterze porządkowym pragnę wymienić:

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

Doktoranta proszę o ustosunkowanie się do przedstawionych uwag a)-h) 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 pewne jej formalne i szczegółowe niedociągnięcia. Uwagi te nie podważają osiągnięć merytorycznych Doktoranta przewidzianych w procedurze uzyskiwania stopnia doktora, a wyszczególnionych w umowie na wykonanie recenzji z Wydziałem Elektrycznym Politechniki Warszawskiej.

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

Na podstawie opinii przedstawionych w niniejszej recenzji stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr. inż. Tomasza Bałkowca 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 trybie obniżającym jak i podwyższającym napięcie. 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. Tomasza Bałkowca 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. Tomasza Bałkowca do publicznej obrony przed Radą Naukową Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Warszawskiej.**

