

Gliwice, 31.01.2022 r.

Dr hab. inż. Zbigniew Kaczmarczyk, prof. PŚ
Wydział Elektryczny
Katedra Energoelektroniki, Napędu Elektrycznego i Robotyki
Politechnika Śląska

**Recenzja rozprawy doktorskiej
dla Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika
Politechniki Warszawskiej**

Dissertation title: *Reliability Improvement of High Performance Power Supplies*

Tytuł rozprawy: *Zwiększanie niezawodności przekształtników energoelektronicznych specjalnego przeznaczenia*

Auto rozprawy: mgr inż. Sebastian BĄBA

Promotor: dr hab. inż. Marek JASIŃSKI, profesor uczelni

Opiekun przemysłowy: dr inż. Marcin ŻELECHOWSKI

Rozprawa doktorska napisana jest w języku angielskim. Liczy łącznie 130 stron oraz podzielona została na 5 rozdziałów. Spis literatury zawiera 201 pozycji, w tym 1 pozycję autorską i 7 pozycji współautorskich Doktoranta. Ponadto rozprawa zawiera listę stosowanych skrótów i oznaczeń oraz listy 57 rysunków i 15 tabel. Do rozprawy dołączono 8 dodatków w postaci artykułów będących autorstwa i współautorstwa Doktoranta. Bardzo istotna jest informacja, że recenzowana rozprawa doktorska w znacznej części bazuje na tych artykułach, stanowiąc szersze i zarazem zamknięte opracowanie naukowe. Jednocześnie wspomniane artykuły przedstawiają inne aspekty, z konieczności pominięte w rozprawie, w pełni związane z jej tematyką. Kwestia ta zostanie jeszcze poruszona w dalszej części recenzji.

Rozprawa doktorska została zrealizowana w ramach programu „Doktoraty Wdrożeniowe” we współpracy pomiędzy firmą TRUMPF Huettinger sp. z o. o. a Wydziałem Elektrycznym Politechniki Warszawskiej. W związku z tym jej tematyka odpowiada na realne zapotrzebowanie przemysłu i charakteryzuje się oczywistymi aspektami aplikacyjnymi.

1. Jakie zagadnienie naukowe/badawcze jest rozpatrywane w pracy (cel i teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora?

Istnienie i dalszy rozwój współczesnej cywilizacji nierozwalanie związany jest z wytwarzaniem i wykorzystaniem energii elektrycznej. Z kolei energia elektryczna stanowi półprodukt, który musi być odpowiednio dostosowany do potrzeb obiorców, wymagań konkretnych odbiorników lub specyfikacji

realizowanych procesów. To dostosowanie, określane technicznie jako przekształcanie energii elektrycznej, realizowane jest powszechnie za pomocą dedykowanych do tego urządzeń – przekształtników energoelektronicznych. Powszechność wykorzystania przekształtników energoelektronicznych i przekształcania za ich pomocą energii elektrycznej powoduje, że obecnie jednym z najważniejszych aspektów w tym zakresie staje się ich niezawodność, która jest przedmiotem recenzowanej rozprawy doktorskiej. W szczególności zagadnienia naukowo-badawcze podjęte w ramach rozprawy dotyczą określenia i zwiększenia niezawodności przekształtników energoelektronicznych specjalnego przeznaczenia stosowanych w systemach do obróbki plazmowej. Takie ukierunkowanie tematyki rozprawy zostało doskonale wyjaśnione i uzasadnione przez Doktoranta. Aktualnie systemy do obróbki plazmowej znajdują szerokie zastosowania do różnorodnego powlekania, uszlachetniania i kształtowania powierzchni, w tym m.in. produkcji ogniw fotowoltaicznych, elementów z materiałów półprzewodnikowych, płaskich ekranów oraz wykonywania powłok szkła architektonicznego. Wszystkie procesy z tym związane są z reguły złożone i wieloetapowe, a zastosowane systemy muszą cechować się wydajnością energetyczną, wysoką stabilnością oraz niezawodnością. Zależnie od wybranego procesu plazmowego i docelowego zastosowania obrabianych / wytwarzanych produktów niezbędne są do tego specjalizowane źródła zasilania – przekształtniki energoelektroniczne, które również muszą posiadać te cechy. Problemy związane z niezawodnością przekształtników energoelektronicznych i ich podzespołów stosowanych w systemach do obróbki plazmowej przekładają się bezpośrednio na różnego typu zakłócenia produkcji oraz związane z tym, często wysokie koszty. Doktorant koncentruje się na kompletnych badaniach niezawodnościowych najważniejszego podzespołu jakim jest nowoczesny przyrząd półprzewodnikowy mocy – tranzystor MOSFET wykonany w technologii węgliku krzemu. Zwiększenie niezawodności i wymagane istotne przyspieszenie dojścia od etapu koncepcji do etapu produkcji zweryfikowanego przekształtnika energoelektronicznego ma zapewnić zaproponowana zmodyfikowana procedura projektowania zorientowanego na niezawodność.

Doktorant w ramach rozprawy doktorskiej stawia następującą tezę (wersja polska i angielska):

Możliwe jest opracowanie modelu probabilistycznego, opisującego rozkład prawdopodobieństwa awarii tranzystora mocy MOSFET wykonanego z węgliku krzemu, który zapewni ocenę niezawodności nowoprojektowanych przekształtników energoelektronicznych przeznaczonych do obróbki plazmowej, zgodnie ze zmodyfikowaną procedurą projektowanie zorientowanego na niezawodność.

It is possible to develop a probabilistic model, describing a probability of failure of Silicon Carbide (SiC) power MOSFET, which enables reliability evaluation of newly developed High Performance Power Supply (HPPS) for plasma processing, according to the modified Design for Reliability (DfR) procedure.

Dodatkowo do wykazania tezy wyszczególnia następujące cele, które zrealizował w ramach rozprawy:

1. Przeprowadzenie analizy warunków pracy przekształtników energoelektronicznych przeznaczonych do obróbki plazmowej oraz przegląd tego typu przekształtników,
2. Zaproponowanie procedury projektowanie zorientowanego na niezawodność (z ang. Design for Reliability – DfR), która umożliwiłaby rozwój nowych przekształtników energoelektronicznych specjalnego przeznaczenia,
3. Zaprojektowanie i przeprowadzenie testu przyspieszonego cyklu życia (z ang. Accelerated Lifetime Test – ALT) tranzystora MOSFET SiC w obudowie SOT-227B,
4. Zidentyfikowanie modelu niezawodnościowego na bazie wyników testu przyspieszonego cyklu życia.

Teza i cele rozprawy doktorskiej zostały jasno sformułowane i wyjaśnione. Tematyka rozprawy jest bardzo ważna, aktualna, jednocześnie złożona i ma bardzo istotne znaczenie praktyczne dla

opracowywanych przekształtników energoelektronicznych specjalnego przeznaczenia do obróbki plazmowej o podwyższonej niezawodności. Przez niezawodność rozumiane jest prawdopodobieństwo, że dane urządzenie, użytkowane w określonych warunkach pracy, zachowa swą funkcjonalność przez określony czas. Należy zauważyć, że pomimo ukierunkowania badań na konkretne grupy przekształtników energoelektronicznych, ich komponenty i przeznaczenie, to wiele z uzyskanych rezultatów znajduje znaczne szersze zastosowania niż rozważane w rozprawie.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle?

Analiza źródeł literaturowych, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań jest przeprowadzona wzorowo. Świadczy to o bardzo dobrych kompetencjach Doktoranta i znajomości podjętej tematyki. Analiza dokonywana jest na bieżąco, w poszczególnych częściach rozprawy, m.in. odnoszących się do zastosowań i specyfiki systemów do obróbki plazmowej, właściwości stosowanych przekształtników energoelektronicznych, charakterystyk metod i określeń typowych dla teorii niezawodności, w tym modeli i różnorodnych testów niezawodnościowych, kończąc na projektowaniu zorientowanym na niezawodność z praktycznym studium przypadku. Na podstawie analizy literatury wyciągnięto odpowiednie wnioski, stanowiące fundament dla rozważanych zagadnień. Jak już wspomniano w spisie literatury wyszczególniono 201 publikacji drukowanych i internetowych, w tym czasopisma, referaty konferencyjne, opracowania przeglądowe, książki i patenty. Odwołania do literatury odbywają się zgodnie z kolejnością ich występowania w tekście rozprawy. Wśród pozycji literatury znajduje się 8 angielskojęzycznych publikacji Doktoranta. Ich pełne teksty dołączono do rozprawy doktorskiej w dodatkach, a ich odpowiadające pozycje w spisie literatury są następujące: 86, 20, 184, 110, 180, 192, 182 i 199. Wszystkie te publikacje związane są z tematyką rozprawy.

3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Rozważane w ramach rozprawy problemy niezawodnościowe przekształtników energoelektronicznych specjalnego przeznaczenia oraz ich podzespołów są bardzo złożone. Związane to jest m.in. z dużą różnorodnością systemów do obróbki plazmowej, typów stosowanych w nich przekształtników, ich wymaganym profilem pracy, liczbą krytycznych komponentów w obwodach głównych i sterowania, związanych z tym liczbą i zmiennością warunków pracy wpływających na niezawodność, różnorodnością i złożonością mechanizmów uszkodzeń, niedostępnością lub wiarygodnością dostępnych modeli niezawodnościowych, brakiem łatwo dostępnych elektrycznych i elektryczno-ciepłych modeli przyrządów półprzewodnikowych, czasochłonnością, kosztownością oraz niedostosowaniem aktualnych metod do często specyficznych warunków i wymagań. Zakres i złożoność problematyki rozprawy spowodowały konieczność przyjęcia, na różnych jej etapach, szeregu założeń i uproszczeń oraz racjonalnego dostosowania rozważanych metod do ich docelowego zastosowania. Takie podejście wyjaśniono poniżej, ograniczając się do trzech przykładów.

Pierwszy przykład dotyczy odgrywanej kluczową rolę w rozprawie procedury projektowania zorientowanego na niezawodność. Względem czasochłonnej metody klasycznej została ona istotnie dostosowana i ukierunkowana na wymogi projektów o krótkim czasie życia. Zaproponowana procedura bazuje na założeniu, że całkowita niezawodność urządzenia może zostać oszacowana dla określonych warunków pracy (tzw. stresorów) jego komponentów krytycznych. Względem metody klasycznej Doktorant zaproponował odpowiednie przeniesienie nacisku z badań symulacyjnych na badania laboratoryjne prototypu. Dodatkowo procedurę uzupełnił o etap utrzymania niezawodności, zapewniający uzyskiwanie niezawodności kolejnych serii produkowanych urządzeń na poziomie nie gorszym niż niezawodność pierwszej sztuki.

Z konieczności zasadnicza analiza niezawodności przekształtnika energoelektronicznego skupiła się na jego jednym z najważniejszych i krytycznych komponentów – tranzystorze MOSFET. Jej celem było uzyskanie wiarygodnego modelu niezawodnościowego wybranego tranzystora MOSFET SiC w obudowie SOT-227B. Wymagało to przyjęcia określonych założeń i sposobu postępowania. Dyplomant m.in. dokonał pogrupowania podobnych mechanizmów uszkodzeń, zmniejszając w ten sposób liczbę wymaganych testów przyspieszonych; wybrał i przeprowadził dla wskazanych parametrów test cyklicznego impulsowania mocą tranzystora, podczas którego nagrzewanie badanego tranzystora odbywało się na skutek strat mocy przewodzenia; zaprojektował i wykonał stanowisko badawcze, za pomocą którego zrealizował test przyspieszonego cyklu życia tranzystora. Ostatecznie Dyplomant odpowiednio zinterpretował uzyskane dane oraz przyjął i zidentyfikował wieloparametrowy model rozkładu prawdopodobieństwa, stanowiący model niezawodnościowy badanego tranzystora MOSFET SiC w obudowie SOT-227B. Na jego podstawie określić można m.in. użyteczny czas życia tranzystora, czyli okres, po którym należałoby przeprowadzić konserwację danego przekształtnika energoelektronicznego.

Ostatni przykład związany jest z przedstawionym w ramach rozprawy studium przypadku, wyjaśniającym praktyczne wykorzystanie zmodyfikowanej procedury projektowania zorientowanego na niezawodność. Zaprezentowano koncepcję modułowego podejścia do budowy obwodów głównych przekształtnika i tym samym analogicznej analizy jego niezawodności. Wskazano i przekonująco uzasadniono, że moduł półmostka tranzystorowego jest reprezentatywny i efektywny do tego typu analizy. Następnie wybrano jako przedmiot analizy przekształtnik typu Buck i po porównaniu podstawowych parametrów kilku sześciusetwoltowych tranzystorów MOSFET o szerokiej przerwie energetycznej, założono użycie w przekształtniku tranzystora MOSFET SiC o symbolu U F3C065040K3S. Dokonując analizy niezawodnościowej, skupiono się przede wszystkim na dwóch komponentach krytycznych – module półmostka tranzystorowego oraz kondensatorach wyjściowych. Dyplomant określił warunki pracy przekształtnika, przeprowadził symulacje, dokonał wstępnej oceny niezawodności oraz skonstruował prototyp układu. Przeprowadzona weryfikacja laboratoryjna wykazała konieczność wprowadzenia modyfikacji, m.in. ze względu na zaobserwowane oscylacje pasożytnicze w obwodzie bramkowym i drenowym tranzystora. Dodatkowo Doktorant, odnosząc się do koncepcji utrzymania niezawodności, zaproponował i zrealizował badania porównawcze niezawodności sterowników bramkowych tranzystorów MOSFET. Wykazał, że nowo zaproponowany odpowiednik sterownika bramkowego ma wyższą niezawodność niż dotychczas stosowany i jego użycie nie pogorszy ogólnej niezawodności rozważanego przekształtnika.

Dyplomant w pełni zrealizował postawione w ramach rozprawy zagadnienie, przyjął uzasadnione założenia i zastosował właściwe metody. Wszystkie wspomniane powyżej elementy zostały w przekonujący sposób wyjaśnione. Wprowadzone modyfikacje względem metod klasycznych podyktowane były ukierunkowaniem badań na praktyczne ich wykorzystanie – uzyskanie kompromisu pomiędzy czasem a ponoszonymi kosztami przy zapewnieniu satysfakcjonującej efektywności.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Oryginalność recenzowanej rozprawy doktorskiej polega na nowatorskim w sferze światowej rozwiązaniu przez Dyplomanta szeregu złożonych problemów o istotnym znaczeniu praktycznym dla projektowania niezawodnych przekształtników energoelektronicznych specjalnego przeznaczenia. Do samodzielnego i oryginalnego dorobku Doktoranta zaliczam opracowanie:

- zmodyfikowanej procedury projektowania zorientowanego na niezawodność przekształtników energoelektronicznych, dostosowanej do wymogów projektów o krótkim czasie życia,

- efektywnej metodyki testu przyspieszonego cyklu życia tranzystora MOSFET SiC w obudowie SOT-227B,
- projektu i uruchomienie stanowiska badawczego dedykowanego do przeprowadzenia testu przyspieszonego cyklu życia tranzystorów MOSFET, w tym:
 - grupowania podobnych mechanizmów uszkodzeń, zmniejszając liczbę wymaganych testów,
 - układów sterowania napięciem wyjściowym sterowników bramkowych do cyklicznego impulsowania mocą tranzystorów,
 - metody detekcji uszkodzeń badanych tranzystorów,
- wieloparametrowego modelu niezawodnościowego tranzystora MOSFET SiC w obudowie SOT-227B uwzględniającego określone warunki pracy,
- koncepcji utrzymania niezawodności w ramach zaproponowanej procedury projektowania zorientowanego na niezawodność przekształtników energoelektronicznych, w tym:
 - metody i przeprowadzenie badań porównawczych niezawodności sterowników bramkowych tranzystorów MOSFET.

Wyniki zrealizowanych badań zostały przedstawione w 8 artykułach o zasięgu międzynarodowym, z których połowa to artykuły konferencyjne, 1 artykuł jest autorski (*Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*), a w 5 artykułach Doktorant jest pierwszym autorem. 4 artykuły dotyczą renomowanych czasopism z listy ministerialnej (*IEEE Transactions on Power Electronics* – 200 pkt oraz 2 x *IEEE Access*, *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences* – 3 x 100 pkt). Wszystkie artykuły znajdują się w bazie Web of Science. Należy zauważyć, że część z informacji zwartych w tych artykułach wykracza poza zakres rozprawy, stanowiąc jej wartościowe uzupełnienie. Przykładowo opracowanie [110] przedstawia dodatkowo wykorzystanie algorytmu sterowania zorientowanego na zwiększenie niezawodności, natomiast artykuły konferencyjne [180 i 182] odnoszą się odpowiednio do metody identyfikacji parametrów cieplnych krytycznych komponentów przekształtników energoelektronicznych oraz sposobu pomiaru ich temperatury w przypadku pracy z częstotliwościami od kilku do kilkunastu megaherców.

W ramach rozprawy określone zostały również kierunki przyszłych badań. Do najważniejszych z nich można zaliczyć:

- identyfikację nieujawnionych dotychczas mechanizmów degradacji i uszkodzeń w nowych generacjach półprzewodnikowych przyrządów mocy,
- standaryzację procedur testu przyspieszonego cyklu życia na bazie nowych modeli niezawodnościowych,
- modelowanie niezawodnościowe przyrządów półprzewodnikowych poddanych cyklicznemu impulsowaniu mocą o różnych parametrach oraz poddanych nagrzewaniu na skutek strat mocy przełączania zamiast strat mocy przewodzenia,
- uzyskanie przyjaznych użytkownikowi modeli niezawodnościowych takich komponentów krytycznych, jak kondensatory oraz nowe przyrządy półprzewodnikowe oraz
- rozwój dedykowanych narzędzi i metod pomiaru zapewniających z wymaganą dokładnością określanie warunków pracy (stresorów) podczas testów laboratoryjnych komponentów krytycznych (np. pomiar tętnień prądów w kondensatorach połączonych równolegle, pomiar prądów szczytowych i skutecznych oraz temperatur w złożonych modułach lub połączonych kompaktowo elementach dyskretnych, pomiar przyrządów półprzewodnikowych mocy przy częstotliwościach przełączania 4-60 MHz lub przy dużych stromościach napięcia).

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?

Rozprawa doktorska została napisana w języku angielskim. Ma ona logiczną strukturę, a strona językowa i terminologia są właściwe dla opracowań naukowo-technicznych. Rozprawa została starannie zredagowana i odpowiednio zilustrowana. Przedstawione założenia, wyjaśnienia, argumentacja oraz opisy wyników badań i zamieszczone wnioski są zrozumiałe dla czytelnika. Zapoznając się z rozprawą, zauważyłem kilka mniej istotnych błędów i nieścisłości oraz informacji, których rozwinięcie byłoby interesujące i mogłoby zapoczątkować dyskusję podczas publicznej obrony. Odpowiednie uwagi zamieściłem poniżej, w podziale na dwie części.

Uwagi szczegółowe:

1. Zastanawiające jest użycie symbolu tranzystora MOSFET z kanałem typu p – rys. 5.
2. Dioda pionowa została oznaczona błędnie – rys. 6.a.
3. Błędnie użyto odwołania do rys. 1, zamiast do tab. 1 – str. 49.
4. Rys. 16.a i 16.b zamienione są miejscami względem podpisu rysunku.
5. Przedstawione wyjaśnienia u dołu str. 64 i względem rys. 18, dotyczące zakresów pracy tranzystora MOSFET, są nieprawidłowe. Rozważane zakresy prawidłowo oznaczono na rys. 18.
6. W tab. 3 zamiast oznaczenia Z_{thjc} powinno znaleźć się R_{thjc} . Impedancja cieplna reprezentowana jest za pomocą odpowiedniej charakterystyki.
7. Stwierdzenie na str. 73: "However, operation of the power MOSFET in linear region assures negative thermal coefficient, which assures stable operation of power MOSFETs during ALT" jest błędne.
8. W tab. 4 zamiast wartości 300 mV powinno zostać podane 119 mV.
9. Rys. 44.a i 44.b zamienione są miejscami względem podpisu rysunku.
10. Podanie wartości -4.99 A w tab. 11 jest niezrozumiałe, szczególnie, że w tab. 13 znajduje się już wartość 4.99 A.
11. Parametr $t_{on} = 1$ s podano dwukrotnie, natomiast pominięto czas t_{off} – str. 109.

Uwagi bardziej ogólne:

1. Jednostki nie powinny być pisane kursywą.
2. Określenie „topologia” w przypadku obwodów elektrycznych ma sprecyzowane znaczenie. W rozprawie jest ono stosowane w znaczeniu bliskim lub równoważonym „schematowi”.
3. Zgodnie z opisem podanym na str. 29 rozważane przekształtniki specjalnego przeznaczenia można sklasyfikować jako bardzo odpowiednie (well suitable), odpowiednie (suitable) i nieodpowiednie (not suitable). Do takiej klasyfikacji nawiązuje również stwierdzenie: "Comparative evaluation and KPI-based analysis of common power converter topologies shows, which power converters can be considered as *preferable* for certain HPPSs" (str. 36). W samej rozprawie brak jest tego typu klasyfikacji, natomiast została ona zamieszczona na rys. 22, w dołączonej publikacji [20].
4. W stwierdzeniu: "It is expected that the power semiconductor devices are the root-cause of over 41.2% of HPPS failures" (str. 60) podano dokładną wartość uszkodzeń. Interesujące byłoby wskazanie źródła tej informacji.
5. Wyjaśnienia przedstawione na str. 77 odnoszą się do porównania sąsiednich tranzystorów, czyli „n” oraz „n+1”. Bardziej zasadne byłoby porównywanie dowolnych tranzystorów z danej grupy, co mogłoby spowodować większe rozbieżności wyników.
6. Do czego odnoszą się podane na str. 77 wartości 6.75 i 2.68 W? Zamieszczony opis jest nieprecyzyjny.
7. Interesujące byłoby podanie przyjętych parametrów testu przyspieszonego cyklu życia zilustrowanych jakościowo na rys. 19.

8. Podane w tab. 5 niektóre wartości nominalnych strat mocy i temperatur są poza zakresem tych uzyskanych w warunkach testu i zamieszczonych w tab. 6. Czy dane w tab. 6 są wartościami średnimi poszczególnych zestawów, czy może tylko wartościami przykładowymi?
9. Czy do obliczeń na podstawie zależności (13) użyto katalogowych wartości Z_{thjc} (R_{thjc}), czy zgodnie z późniejszym komentarzem wyznaczono je pomiarowo? Jeżeli użyto metody pomiarowej, to dla ilu tranzystorów zostały wykonane pomiary. Czy rozrzut uzyskanych wyników może mieć istotny wpływ na wyznaczaną temperaturę T_j ?
10. Wyjaśniono, że mierzono temperaturę T_{top} (w podpisie rys. 26 nazwaną ją również referencyjną). Brak jest takich wyników. Jaki był cel tych pomiarów?
11. Interesujące byłoby uzupełnienie, w jaki sposób mierzono spadek napięcia na diodzie V_{fwd} i rezystancję przewodzenia tranzystora R_{dson} – rys. 29-33.
12. Czy do realizacji wspomnianych w rozprawie (str. 96) metody Maximum Likelihood Estimation oraz testu Anderson-Darling użyto dedykowanego oprogramowania? Jak zrealizowano te obliczenia?
13. Interesujące byłoby uzupełnienie, dlaczego parametru N_f (Mean Useful Lifetime) z modelu CIPS2008 (str. 96) użyto do określenia zależności funkcyjnej parametru kształtu η z modelu Weibull-a (str. 99).
14. Z różnych temperatur tranzystorów (tab. 11) wynika, że w przypadku drugiego tranzystora przewodzi jego dioda. Czy może to mieć wpływ na poprawność użytego modelu niezawodnościowego?
15. W jaki sposób poprawnie skorelować temperatury podane w tab. 14 i 15 oraz na rys. 55?

Przedstawione uwagi w żaden sposób nie obniżają wartości merytorycznej recenzowanej rozprawy doktorskiej i jej bardzo dobrej oceny.

6. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk inżyniersko-technicznych?

Rozprawa doktorska stanowi kompleksowe opracowanie naukowo-badawcze dotyczące problematyki projektowania niezawodnościowego przekształtników energoelektronicznych stosowanych w systemach do obróbki plazmy. Ponieważ została ona zrealizowana w ramach programu „Doktoraty Wdrożeniowe” we współpracy uczelni z przemysłem, dlatego uzyskane wyniki mają istotne znaczenie praktyczne. W szczególności wprowadzona w ramach rozprawy zmodyfikowana procedura projektowania zorientowanego na niezawodność przekształtników energoelektronicznych specjalnego przeznaczenia jest przedmiotem bezpośredniego wdrożenia w firmie TRUMPF Huettinger sp. z o. o. Opracowana procedura i szereg związanych z nią zagadnień, dotyczących m.in. różnego typu analiz, modelowania, testowania i pomiarów, są ważne dla nauk inżyniersko-technicznych oraz poszerzenia aktualnego stanu wiedzy. Ze względu na zakres i złożoność podjętej problematyki, rozprawa stanowi z pewnością wstęp i wytycza kierunki dalszych badań związanych z projektowaniem bardziej niezawodnych urządzeń.

7. Podsumowanie

Pan mgr inż. Sebastian BĄBA w rozprawie doktorskiej pt. *Zwiększanie niezawodności przekształtników energoelektronicznych specjalnego przeznaczenia* zaprezentował nowe oraz zmodyfikowane rozwiązania zorientowane na projektowanie niezawodnościowe przekształtników energoelektronicznych stosowanych w systemach do obróbki plazmowej, uwzględniające wymogi projektów o krótkim czasie życia. Wykazał się bardzo dobrymi kompetencjami w zakresie podjętej tematyki oraz samodzielnością w prowadzeniu pracy naukowej. Teza rozprawy została w pełni udowodniona, a związane z nią cele zostały konsekwentnie zrealizowane. Rozprawa jest kompletna i nie wymaga uzupełnień. Spełnia wymagania formalne określone w obowiązujących przepisach.

Jej tematyka zawiera się w aktualnej dyscyplinie Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika. Zamieszczone w pkt. 5 uwagi nie mają istotnego wpływu na wartość naukową rozprawy. Moja ocena recenzowanej rozprawy doktorskiej jest w pełni pozytywna. Wniosuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.

Biorąc pod uwagę wysoki poziom merytoryczny, szeroki zakres, aktualność tematyki i znaczenie uzyskanych wyników, w tym aspekty praktyczne oraz upowszechnienie jej wyników poprzez publikacje o zasięgu międzynarodowym, zaliczam recenzowaną rozprawę do kategorii wybitnie dobrej i zasługującej na wyróżnienie.

Tym samym wniosuję o uznanie rozprawy doktorskiej za wyróżniającą.

Zbigniew Kaszmarek