

dr hab. inż. Krzysztof Pietruszewicz, prof. ZUT
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Elektryczny
Katedra Automatyki i Robotyki

Szczecin, 4 września 2023 r.

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Radosława Gordona

Tytuł rozprawy: **Wykorzystanie emisji akustycznej w diagnozowaniu morskich urządzeń elektroenergetycznych na przykładzie półprzewodnikowych przyrządów mocy**

Autor rozprawy: **mgr inż. Radosław Gordon**

Promotor rozprawy: **dr hab. inż. Artur Bejger, prof. PM**

Promotor pomocniczy: **dr inż. of. elektroautomatyk okr. Maciej Kozak, prof. PM**

Dziedzina: **nauki inżynieryjno-techniczne**

Dyscyplina: **automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne**

1. Wstęp i podstawa prawna

Recenzowana rozprawa porusza istotne, zarówno z naukowego jak i praktycznego oraz aplikacyjnego punktu widzenia, zagadnienia diagnostyki morskich urządzeń elektroenergetycznych – w tym półprzewodnikowych przyrządów mocy – z zastosowaniem zjawiska emisji akustycznej.

Recenzja została sporządzona na prośbę Rady Wydziału Elektroniki i Informatyki Politechniki Koszalińskiej wyrażoną w piśmie z dnia 6 lipca 2023 roku oraz Uchwale Senatu Politechniki Koszalińskiej Nr 66/2023 z dnia 28 czerwca 2023 roku.

Przewód doktorski mgr. inż. Radosława Gordona (wszczęty w dniu 26 kwietnia 2019 r. w dziedzinie: nauki techniczne w dyscyplinie naukowej: elektronika), procedowany jest na podstawie wskazanych w przywołanej Uchwale rozporządzeń przez Senat Politechniki Koszalińskiej.

2. Ocena formalna pracy

Praca doktorska pt. „Wykorzystanie emisji akustycznej w diagnozowaniu morskich urządzeń elektroenergetycznych na przykładzie półprzewodnikowych przyrządów mocy” obejmuje 119 stron. Składa się z 7 zasadniczych rozdziałów (w tym wstępu oraz podsumowania i wniosków), Bibliografii z wykazem 94 prac oraz 5 not aplikacyjnych. Praca jest uzupełniona streszczeniem w języku polskim i angielskim, przydatnym dla czytelnika wykazem skrótów i oznaczeń, dodatkowych wniosków końcowych, spisem rysunków, spisem tabel. Praca jest napisana w języku polskim i zorganizowana jak poniżej:

1. Wstęp – wprowadzenie do problematyki rozprawy; przybliżenie czytelnikowi znaczenia badanego problemu; określenie celu pracy, genezy podjęcia problematyki badawczej oraz przedstawienie hipotez badawczych, składających się na tezę pracy;

W.

2. Rozdział 1. Metody testowania tranzystorów i modułów IGBT – przedstawienie stanu wiedzy w obszarze testowania badanych elementów półprzewodnikowych, stanowiących przedmiot rozważań pracy; omówienie możliwych źródeł awarii układów półprzewodnikowych; szczegółowa dyskusja wybranych metod testowania przez pryzmat badań własnych autora dysertacji; przedstawienie podziału metod pomiarowych uszkodzeń przewodów łączących wewnątrz obudowy tranzystora IGBT; w rozdziale autor w przystępny sposób omawia zagadnienia diagnostyki od analizy temperatury radiatora, przez pomiary napięcia, analizę RTG, po defektoskopię ultradźwiękową by wreszcie pod koniec rozdziału przybliżyć czytelnikowi zagadnienie i zjawisko emisji akustycznej w elementach energoelektronicznych;
3. Rozdział 2. Emisja akustyczna – omówienie zjawiska oraz rodzajów emisji akustycznej; przedstawienie własności fali oraz wielkości fizycznych opisujących emisję akustyczną; omówienie czterech rodzajów deskryptorów emisji akustycznej z uwagi na zdarzenia zachodzące w czasie, pochodne przebiegów czasowych, pochodne energii sygnału oraz z uwagi na rozkład częstotliwościowy; przedstawienie parametrów dla każdej z grup deskryptorów; prezentacja wybranych rodzajów czujników emisji akustycznej oraz omówienie zagadnienia wzorcowania torów pomiarowych podczas badania emisji akustycznej;
4. Rozdział 3. Tranzystory IGBT – omówienie technologii tranzystorów IGBT; przedstawienie budowy, historii zmian w technologii IGBT; wskazanie związku zjawiska emisji akustycznej z przełączaniem oraz zmianą temperatury tranzystora jako kluczowych czynników podczas ustalania wzorca porównawczego dla dalszych badań;
5. Rozdział 4. Cel i teza rozprawy – przedstawienie celu badawczego rozprawy; zdefiniowanie tezy rozprawy;
6. Rozdział 5. Badania własne – przedstawienie opisu stanowisk badawczych; opis opracowanych w części badawczej torów pomiarowych oraz metodyki badawczej; prezentacja sprzętu oraz obiektu badań; określenie zależności pomiędzy emisją akustyczną (EA) a zjawiskami związanymi z pracą badanych elementów półprzewodnikowych;
7. Podsumowanie i wnioski – omówienie zagadnień, które związane są mniej lub bardziej z uzyskanymi w ramach pracy wynikami;
8. Wnioski końcowe – jedenaście szczegółowych wniosków, jakie autor wyciąga z przeprowadzonych w ramach dysertacji badań.

Cytowane pozycje literaturowe, w których powstaniu autor rozprawy brał udział:

1. [9] Bejger, A., Kozak, M., Gordon, R. (2018). Acoustic emission of monolithic IGBT transistors. *New Trends in Production Engineering*, 1(1), 755-760;
2. [22] Dreas, A., Gordon, R. (2018). Wpływ napięcia zasilania tranzystora IGBT na otrzymany sygnał emisji akustycznej. *Badania Nieniszczące i Diagnostyka*, 4, 62-64;
3. [27] Gordon, R. (2018). Detekcja emisji akustycznej w pracujących układach półprzewodnikowych. **DIAGO 2018: technická diagnostika strojů a výrobních zařízení: 37. mezinárodní vědecká konference: Orea Resort Devět Skal, Sněžné-Milovy, Technická Diagnostika, XXVII, z1, 25–27;**
4. [28] Gordon, R. (2019). Detection and Recording of Acoustic Emission in Discrete IGBT Transistors. In: Świder, J., Kciuk, S., Trojnecki, M. (eds) *Mechatronics 2017 – Ideas for Industrial Applications. MECHATRONICS 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 934, 144–150. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-030-15857-6_15;

W.

2.

5. [29] Gordon, R., Bejger, A. (2022). An Analysis of Failures and Practical Possibilities of Diagnosing IGBT Transistors in Converter Circuits of Marine Propulsion Systems. *Energies*, 15, 4276. DOI: 10.3390/en15124276;
6. [42] Kozak, M., Gordon, R. (2019). Experimental investigations of monolithic IGBT transistor acoustic emission phenomena. In *ITM Web of Conferences* (Vol. 28, p. 01036). EDP Sciences.

Spośród 6 prac, cytowanych w recenzowanej rozprawie, najważniejszymi z perspektywy celu oraz tezy dysertacji są w mojej ocenie prace: [27], [28] oraz [42].

Uwagi na temat poprawności językowej i redakcyjnej rozprawy:

1. Generalnie praca napisana starannie, bez błędów językowych; opisy bardzo szczegółowe, momentami przytłaczające liczbą detali i pojęć;
2. Cytowanie literatury oraz organizacja Bibliografii niekonsekwentna – wydzielono Noty aplikacyjne jako osobną kategorię literatury, pozostawiając notę [21] w ogólnej części; niektóre z pozycji Bibliografii nie posiadają kompletnych danych, lub są pracami niepublikowanymi: [8], [39], [53], [68]; można było wydzielić kategorię „Strony WWW” jako osobną, Bibliografia zyskałaby na czytelności;
3. Struktura pracy logiczna, jednakże autor opracowując Rozdziały 1 – 3 w bardzo szczegółowy, momentami nadmiernie sposób, zaniedbał istotę Rozdziału 4 – Cel i teza rozprawy, który winien odzwierciedlać to, co jest przedmiotem pracy w ogólnej problematyce w nieco głębszy sposób;
4. Rozdział 2.2. Deskryptory emisji akustycznej zawiera rysunek 2.6. Tylko dzięki niemu czytelnik dowiadyuje się o podziale deskryptorów na cztery logiczne grupy;
5. W Rozdziale 5 na rysunku 5.15 przedstawiono jedynie schemat blokowy badanego układu – niedosyt pozostawia brak zdjęć stanowiska badawczego, o którym autor wspomina na początku rozdziału 5.3 – to podniosłoby wartość pracy;
6. Cel, zakres oraz teza pracy zostały zaprezentowane w jasny, nie pozostawiający wątpliwości sposób – szkoda, że w tak lakoniczny i skrócony sposób. Zjawiska, o których pisze autor dysertacji oraz waga osiągnięcia są znacznie większe;
7. Na uwagę zasługuje nieco zmieniona kolejność rozdziałów – najpierw autor wprowadza czytelnika w zagadnienia metod testowania tranzystorów IGBT, zjawiska emisji akustycznej oraz samej technologii budowy tranzystorów IGBT, by dopiero w rozdziale 4 przedstawić cel i tezę pracy – choć we wcześniejszych rozdziałach umiejętnie zapowiada i opisuje problemy, z którymi będzie sobie chciał poradzić dzięki rozwiązaniom, zaprezentowanym w rozprawie;
8. W Rozdziale 5 brakuje mi tabelarycznego podsumowania uzyskanych wyników; rozdział jest długi (41 stron) i brak takiej kłamy spinającej osiągnięte wyniki nieco osłabia odbiór materiału; chwilami nie daje się wyczuć, co jest zdaniem autora najistotniejsze;
9. W Rozdziale Wnioski końcowe jasno wypunktowano osiągnięcia pracy.

3. Ocena merytoryczna pracy

3.1. Istotność zagadnienia

Tematyka niniejszej dysertacji związana jest z opracowaniem oraz eksperymentalną weryfikacją i walidacją nowego podejścia do diagnostyki energoelektronicznych układów przełączających z zastosowaniem zjawiska emisji akustycznej.

W

Zagadnienia poruszane w pracy są niezwykle istotne z perspektywy eksploatacji układów półprzewodnikowych w warunkach pracy na morzu, zarówno pod względem bezpieczeństwa jak i całościowego kosztu posiadania/użytkowania systemu.

3.2. Zawartość merytoryczna pracy

Najważniejszym naukowo rozdziałem pracy jest z pewnością Rozdział 5 Badania własne. Na nim chciałbym się skupić podczas mojej opinii. Autor przedstawia w nim serię stanowisk badawczych, które albo opracował sam, albo uczestniczył w ich przygotowaniu we współpracy z Promotorem oraz zespołem badawczym. Rozdział ten jest również w mojej ocenie, poza niezaprzeczalnie wysokiej jakości wprowadzeniem teoretycznym w ramach rozdziałów 1 do 3, najważniejszym osiągnięciem rozprawy.

3.3. Uwagi dyskusyjne

1. Autor nie próbuje w swoim warsztacie stosować aparatu modelowania i symulacji komputerowej badanych zjawisk; czy wynika to ze złożoności problemu, czy też braku stosownych do tego celu narzędzi programowych;
2. Na rysunku 2.11 autor wskazuje kąt łamania grafitu ołówka wynoszący 30 stopni – który to kąt, i czy w takim przypadku wymiarowanie jest prawidłowe?
3. W rozdziale 5.3 autor wskazuje na analizy różnymi wbudowanymi funkcjami Matlaba – jakie były to metody, dlaczego nie przedstawiono podstaw teoretycznych tychże metod; o jakich innych przekształceniach autor wspomina w tym fragmencie pracy;
4. W pracy brakuje informacji o oprogramowaniu jakie autor wytworzył podczas prac nad dysertacją; podczas prezentacji na obronie można ten brak nadrobić.

3.4. Ogólna ocena merytoryczna pracy

Według mnie przedstawiona do recenzji rozprawa jest naukowo kompletna. Potwierdzeniem tego niech będzie występowanie w rozprawie:

1. Odniesień do bogatej literatury przedmiotu badań,
2. Przeglądu metod testowania tranzystorów i modułów tranzystorów z izolowaną bramką, uwzględniających również zjawisko emisji akustycznej,
3. Omówienie zjawiska emisji akustycznej, omówienie jego deskryptorów, przegląd czujników i zagadnienia wzorcowania torów pomiarowych,
4. Opisu stanowiska badawczego i sposobów rejestracji zdarzeń emisji akustycznej,
5. Analizy i omówienia wyników badań własnych,
6. Podsumowania wyników, przedstawienie problemów i wskazanie ścieżki prowadzonych już przez autora, dalszych badań.

Poszukiwania naukowe doktoranta zawarte są zasadniczo w rozdziale 5. Zaowocowały autorskimi rozwiązaniami wielu aspektów badawczych, które w mojej ocenie stanowią ważny wkład w rozwój dyscypliny automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne. Do najważniejszych należą:

1. Szeroka analiza stanu literatury oraz krytyczne podejście do eksperymentów innych autorów,
2. Porównanie wielu urządzeń pomiarowych dla potwierdzenia stawianych tez cząstkowych,
3. Zaproponowanie metody diagnostycznej urządzeń półprzewodnikowych z zastosowaniem zjawiska emisji akustycznej.

4.

4.

Zaprezentowane badania mają charakter rozwojowy, zmierzający w kierunku opracowania metod diagnostycznych integrowanych w ramach mobilnego systemu pomiarowego dla zastosowań w diagnostyce urządzeń szeroko rozumianej energoelektroniki „morskiej”.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska stanowi według mnie oryginalne rozwiązanie zdefiniowanego na wstępie problemu naukowego. W dużej mierze jest oryginalnym rozwiązaniem tego problemu z zastosowaniem szeregu autorskich opracowań projektowych, konstrukcyjnych i technologicznych. Zaprezentowane wyniki badań wykazują ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie naukowej automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne zaś poziom precyzji opisu postawionej w pracy a następnie udowodnionej tezy badawczej dowodzą umiejętności doktoranta zarówno do zespołowego jak i (co ważniejsze) samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Uważam, że doktorant dysponuje teoretycznym oraz praktycznym warształem badawczym, potrafi zaplanować eksperyment naukowy oraz posiada umiejętności publikowania wyników badań, czego dowodzą prezentowane i cytowane w rozprawie prace. Choć pewien niedosyt budzi brak publikacji samodzielnego doktoranta, to dokonania opisane w rozprawie jasno wytyczają wkład doktoranta w dyscyplinę naukową.

4. Wniosek końcowy

Po zapoznaniu się z pracą doktorską pt. „Wykorzystanie emisji akustycznej w diagnozowaniu morskich urządzeń elektroenergetycznych na przykładzie półprzewodnikowych przyrządów mocy” stwierdzam, że:

przedstawiona rozprawa spełnia

właściwe ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim oraz mieści się w dyscyplinie automatyka, elektronika, elektrotechnika i technologie kosmiczne i w związku z powyższym

wnioskuje o przyjęcie rozprawy doktorskiej oraz dopuszczenie

mgr. inż. Radosława Gordona do publicznej obrony.

Krzysztof Pietruszewicz